

การศึกษาการเผาไหม้แกลบและขาน้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด

Experimental Study of Rice Husk and Bagasse Firing in Fluidized Bed Combustor



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

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

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 49926

วัน เดือน ปี 2 ๒๕.ย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545
การศึกษาการเผาไหม้แกลบและขาน้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด
Experimental Study of Rice Husk and Bagasse Firing in Fluidized Bed Combustor

โดย
นายวิทยา หอสุวรรณนท์
นายวิโรจน์ เสงระศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา
วัชร เพิ่มชาติ

วิระชัย ถิมพรชัยเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ประจำปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการเผาไหม้แกลบและขาน้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

(Experimental Study of Rice Husk and Bagasse Firing in Fluidized Bed Combustor)

ผู้จัดทำ

1. นายวิทยา หอสุวรรณานนท์
2. นายวิโรจน์ เสระศาสตร์



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.วัชรระ เพิ่มชาติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. วีระชัย ถิมพรชัยเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการเผาแกลบและชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

วิทยา หอสุวรรณานนท์
 วิโรจน์ เสระศาสตร์
 วัชระ เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษา
 วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปฏิญานพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ร่วมกับหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเผาไหม้แกลบและชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด ตลอดจนศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา รวมถึงมลพิษที่จะเกิดขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกิน และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนการทดลอง ได้ทำการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้และมลพิษภายในเตาตลอดความสูงตัวเตาและไอเสียที่ปล่อยออกจากเตา ได้แก่ CO, CO₂, NO_x ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิการเผาไหม้ของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ได้จะอยู่ในช่วง 700 – 900 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้งปริมาณอากาศส่วนเกิน และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาแต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการทำงานของเตาที่อยู่ในเกณฑ์ที่สูง คือ เมื่อใช้แกลบจะอยู่ในช่วง 89 – 91 % และเมื่อใช้ชานอ้อยจะอยู่ในช่วง 98 – 99 %

EXPERIMENTAL STUDY OF RICE HUSK AND BAGASSE FIRING
IN FLUIDIZED BED COMBUSTOR

Mr. Wittaya Hosuwannanont

Mr. Wirote Selasart

Mr. Watchara Permchart **Advisor**

Mr. Verachai Limpornchaijalearn **Advisor**

Year 2002

ABSTRACT

This project is a part of the development of a biomass fluidized bed combustor connected to an industrial steam boiler. The objectives are to study a characteristic of rice husk and sugarcane bagasse combustion in a conical fluidized bed combustor (referred to as a conical FBC). The effects of excess air ratio and fuel feed rate on combustion performance of this combustor were studied.

In the tests, axial temperature and gaseous emissions particularly in CO, CO₂, NO_x along over the combustor height in FBC as well as the combustor stack were measured. The results showed that, the combustion temperature was in the range of 700 – 900 °C. The excess air ratio and the fuel feed rate have effects on combustion efficiency of FBC; however, the combustion efficiencies were found to be in the range of 89-91% and 98-99% when firing rice husk and bagasse respectively.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ช
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ที่มาของโครงการ	1
1.2. วัตถุประสงค์	3
1.3. ขอบเขตของโครงการ	4
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ศักยภาพของชีวมวล	5
2.1.1 เชื้อเพลิงชีวมวล	5
2.1.2. ศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทย	6
2.2 การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์	9
2.2.1. การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการทางชีวภาพ	9
2.2.2. การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการทางความร้อน	13
2.3 การเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด	21
2.4 ทฤษฎีการเผาไหม้	26
2.4.1. ปฏิกริยาของการเผาไหม้	27
2.4.2. ตัวแปรที่มีผลต่อการเผาไหม้	27
2.4.3. การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ	27
2.4.4. การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
2.5.1. งานวิจัยในประเทศ	29
2.5.2. งานวิจัยต่างประเทศ	30

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- | | |
|---|----|
| 3.1. การจัดเตรียมตัวเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด | 34 |
| 3.2. การจัดเตรียมเชื้อเพลิงแกลบและขานอ้อยสำหรับการทดลอง | 37 |
| 3.3. วิธีการทดลอง | 38 |

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

- | | |
|--|----|
| 4.1. องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและขานอ้อย | 40 |
| 4.2. ลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผา | 41 |
| 4.2.1. การกระจายตัวของอุณหภูมิ | 41 |
| 4.2.2. การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ | 43 |
| 4.2.3. การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน | 44 |
| 4.3. มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ | 45 |
| 4.3.1. ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อมลพิษที่เกิดขึ้น | 45 |
| 4.3.2. ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา | 45 |
| 4.3.2.1. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา | 46 |

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

- | | |
|--------------------------|----|
| 5.1. สรุปผลการศึกษา | 47 |
| 5.2. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม | 47 |

ภาคผนวก

- | | |
|--|----|
| ก. การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ | 49 |
| ข. ข้อมูลการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ และปริมาณไอเสียชนิดต่าง ๆ
ที่ปล่อยออกจากเตา | 54 |
| ค. เอกสารประกอบการเข้าร่วมประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร
แห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 ประจำปี 2546 วันที่ 13-14 มีนาคม 2546
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ | 67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ
เอกสารอ้างอิง

75

76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงถึงสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตทางการเกษตรเป็นชีวมวล	6
2.2	แสดงปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆกวนไม้พิน ที่ผลิตได้ภายในประเทศ ปีเพาะปลูก 2538/39	7
2.3	แสดงราคาชีวมวล	8
2.4	คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	9
4.1	แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบและชานอ้อย	40
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของทรายที่ใช้เป็นเบคในการทดลอง	41
4.3	ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวมวลในปี 2537 - 2543	2
1.2	กราฟเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริงในปี 2543	2
2.1	การเปรียบเทียบการใช้พลังงานชีวมวล พลังงานฟอสซิล และพลังงานทั้งหมดภายในประเทศ	8
2.2	การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยผ่านกระบวนการทางความร้อนแบบต่างๆ	13
2.3	ลักษณะของ Updraft Gasifier	16
2.4	ลักษณะของ Downdraft Gasifier	17
2.5	ลักษณะของ Crossdraft Gasifier	17
2.6	ลักษณะของ Fluidized Bed Gasifier	18
2.7	ลักษณะของ Suspended Gasifier	19
2.8	ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยา Carbonization	20
2.9	เตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม	21
2.10	ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง	22
2.11	Grate – Fired Stoker	22
2.12	เตาเผาแบบ Circulating Fluidized Bed Combustor (CFBC)	24
2.13	เตาเผาแบบ Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC)	25
2.14	เตาเผาแบบ Pressurized Fluidized Bed Combustor (PFBC)	25
2.15	ไดอะแกรมของเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบด	31
2.16	แสดงลักษณะเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบภายใต้บรรยากาศ	33
2.17	ไดอะแกรมการจัดเตรียมการทดลองของ Baron	33
3.1	รูปถ่ายจริงแสดงตัวเตาที่ได้ทำการหุ้มฉนวนแล้ว	34
3.2	รูปถ่ายจริงแสดงตัวป้อนเชื้อเพลิงที่ปรับปรุงใหม่	35
3.3	รูปแสดงการ Set-Up การทดลอง	36
3.4	รูปถ่ายจริงแสดงการ Set-Up การทดลอง	36
3.5	ตัวอย่างเกลบที่ใช้ในการทดลอง	37
3.6	ตัวอย่างชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง	37
3.7	ภาพเปรียบเทียบเชื้อเพลิง ขี้เถื้อย เกลบ และชานอ้อย	38
3.8	เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO-350	39

4.1	การกระจายตัวของขนาดของซานอ้อย และเกลบที่ใช้ในการทดลอง	40
4.2	การกระจายตัวของอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามแนวรัศมีเตา	41
4.3	การกระจายตัวของอุณหภูมิตามความสูงของเตาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงและ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ	42
4.4	ปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างกันและที่ ความสูงต่างกัน	43
4.5	การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง และ ความสูงเตาต่างกัน	44
4.6	ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น	45
4.7	ปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

pH	=	ค่าความเป็นกรด-เบส
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน
LHV	=	Lower Heating Value
HHV	=	Higher Heating Value
B	=	Fuel feed rate
EA	=	Excess Air
COD	=	Chemical Oxygen Demand
PCC	=	Pulverized Coal Combustion
PFB	=	Pressurized Fluidized Bed
U_{mf}	=	Minimum Fluidization Velocity
CFBC	=	Circulating Fluidized Bed Combustion
AFBC	=	Atmospheric Fluidized Bed Combustion
PFBC	=	Pressurized Fluidized Bed Combustion
LPG	=	Liquid Petroleum Gas



บทที่ 1

บทนำ

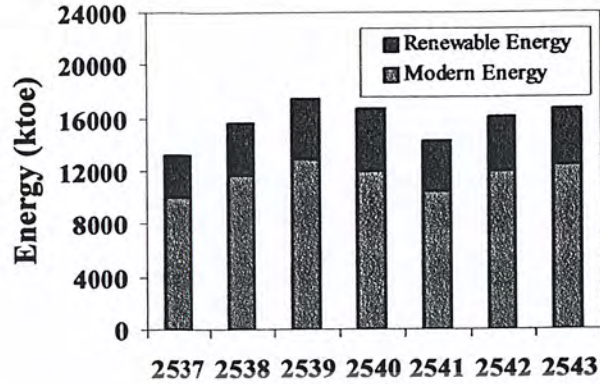
1.1. ที่มาของโครงการ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เติบโตอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรม อันหมายถึงความต้องการในการใช้พลังงานจึงต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2540-2542 ที่ผ่านมานี้ ประเทศไทยได้ประสบปัญหาภาวะวิกฤตเศรษฐกิจ ซึ่งส่งผลให้ความต้องการในการใช้พลังงานลดต่ำลง แต่ถึงแม้ว่าความต้องการในการใช้พลังงานจะลดต่ำลง บทบาทในด้านการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพกลับยังคงมีความสำคัญอย่างต่อเนื่องและมากยิ่งขึ้นเป็นลำดับ ในประเทศไทยนั้นพื้นฐานอาชีพ โดยส่วนใหญ่ยังคงเป็นอาชีพเกษตรกรรม ดังนั้นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร (Agricultural Residuals) หรือที่รู้จักกันในสายงานทางด้านพลังงานทดแทนว่า “ชีวมวล” (Biomass) ถือเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative Energy) ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ตรงข้ามกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีราคาต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน และยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอันเนื่องมาจากการปลดปล่อยมลพิษในอัตราที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมากที่สุดในปัจจุบันคือมลภาวะทางอากาศ (Air Pollution) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากการใช้พลังงานแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับท้องถิ่น (Local) ระดับภูมิภาค (Regional) และระดับโลก (Global) การใช้ชีวมวลเป็นพลังงานเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น จะส่งผลกระทบต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซมลพิษที่เป็นสาเหตุของการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทั้ง 3 ระดับที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งอัตราการปลดปล่อยก๊าซมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลนั้น จะมีทั้งผลดีและผลเสียต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ระดับในปริมาณที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

ถ้าพิจารณาถึงปริมาณการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิต (Industrial Sector) ในปี 2543[1] ซึ่งมีการใช้พลังงานรวมทั้งสิ้น 16.4 Mtoe เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า มีการใช้พลังงานมากเป็นอันดับสองรองจากภาคขนส่ง (Transport Sector) โดยแบ่งเป็นพลังงานตามแบบ (Conventional Energy) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และไฟฟ้าในปริมาณ 12.48 Mtoe และพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในปริมาณ 4.26 Mtoe ปริมาณการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 4.2 ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 34.6 ของความต้องการใช้พลังงานทั้งหมด [1] ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นว่าในปี 2539 – 2541 ปริมาณการใช้พลังงานได้ลดลงเนื่องจากปัญหาภาวะวิกฤต

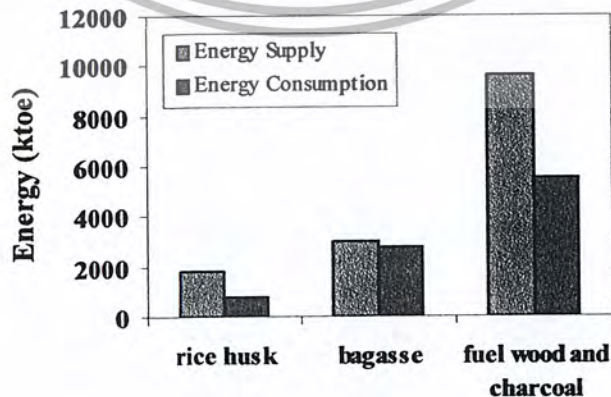
เศรษฐกิจตกต่ำจนถึงปี 2542 ปริมาณการใช้พลังงานจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากเศรษฐกิจเริ่มฟื้นตัว

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลกับเชื้อเพลิงชีวมวลในปี 2537 - 2543

พลังงานชีวมวลนับเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่ประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานในปริมาณที่สูง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงขบวนการผลิตให้สามารถใช้พลังงานทดแทนรูปแบบอื่นร่วมกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในภาคอุตสาหกรรม การปรับปรุงดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปพลังงานชีวมวล (Conversion Technology) ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งในปัจจุบันอุปทานของพลังงานประมาณร้อยละ 33 มาจากชีวมวล ซึ่งประกอบไปด้วย เชื้อเพลิงไม้ (20%) ชานอ้อย (67%) แกลบ (13%) และยังมีของเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมอีกไม่น้อยกว่าปีละ 50 ล้านตัน ที่สามารถนำมาพัฒนาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ดังรูปที่ 1.2 ที่แสดงถึงปริมาณเชื้อเพลิงไม้ (Fuel Wood and Charcoal) ชานอ้อย (Bagasse) และแกลบ (Rice Husk) ที่เหลือในปี พ.ศ. 2543[1] ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า ถ้าสามารถนำชีวมวลทั้ง 3 ชนิดนี้มาใช้ผลิตพลังงาน จะได้พลังงานเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 11 ของการบริโภคพลังงานทั้งหมดของประเทศ [1]



รูปที่ 1.2 กราฟเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริงในปี 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงาน นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานของประเทศ แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปพลังงานชีวมวลมาใช้ประโยชน์ มี 2 แนวทาง คือ การรับเทคโนโลยีจากต่างประเทศเข้ามาใช้ ซึ่งมีข้อดี คือ ช่วยลดปัญหาความยุ่งยากในการออกแบบ และการเลือกวัสดุใช้งาน แต่มักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานอันเนื่องมาจากคุณภาพเชื้อเพลิงที่ไม่คงที่ ประกอบกับเทคโนโลยีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมักออกแบบสำหรับใช้งานกับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ (Industrial Boiler) ที่สำคัญแนวทางนี้ต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมาก จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก อีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลัก (น้ำมัน) และเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อทดแทนกันได้ โดยการออกแบบเตาเผาชีวมวล (Combustor) ในขนาดที่เหมาะสมและต่อเชื่อมเข้ากับ Boiler ในรูปแบบของ Combustor-Boiler System เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำมันลง แนวทางนี้เป็นแนวทางที่ไม่ต้องการเงินลงทุนที่สูงนัก และยังสามารถใช้ได้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กด้วย แต่ข้อจำกัดที่สำคัญ คือ จำเป็นจะต้องมีชีวมวลสำหรับเป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับเตาเผาอย่างเพียงพอ ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและการขนส่งชีวมวลต้องอยู่ในอัตราที่เหมาะสม

จากเหตุผลข้างต้นที่กล่าวมานี้ โครงการนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงการนำประโยชน์จากพลังงานชีวมวลอีก 2 ชนิด คือ แกลบและชานอ้อย โดยโครงการนี้เป็นโครงการที่ศึกษาต่อจากโครงการของนักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปีการศึกษา 2544 ที่ได้ศึกษาเฉพาะการเผาไหม้ชี้อ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่แกลบและชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอีก 2 ชนิด ที่มีศักยภาพสูงในประเทศไทย และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ในลักษณะเดียวกันกับชี้อ้อยได้ เพียงแต่แกลบมีข้อแตกต่างจากชี้อ้อยตรงที่มีปริมาณขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มากกว่ามาก ส่วนชานอ้อยนั้นจะมีความชื้นเริ่มต้นในปริมาณที่สูงกว่าชี้อ้อยมาก ซึ่งทั้งปริมาณขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และความชื้นเริ่มต้นของเชื้อเพลิงชีวมวลนี้ ถือเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด โครงการนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาถึงลักษณะการเผาไหม้ของแกลบและชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ได้สร้างไว้แล้ว รวมถึงประเมินมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ตลอดจนประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา

1.2. วัตถุประสงค์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. ขอบเขตของโครงการ

- การศึกษาในครั้งนี้จะใช้ถ่านและขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ โดยใช้ทรายเป็นเบดในเตาเผา
- ตัวแปรที่จะทำการศึกษาในการเผาไหม้ถ่าน ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกิน และอัตราการป้อนถ่าน ส่วนตัวแปรที่จะทำการศึกษาในการเผาไหม้ขานอ้อย ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนขานอ้อย และความชื้นในขานอ้อย
- มลพิษที่จะทำการวัด ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยใช้การวิเคราะห์ไอเสีย (Flue Gas Analysis) แบบ Dry Basis

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อทำให้การศึกษาการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างเตาเผาในโรงงานในรูปแบบของ Fluidized Bed Boiler หรือ Combustor-Boiler System ซึ่งมีขนาดใหญ่และต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพียงชนิดเดียวตลอดทั้งปีนั้นย่อมเป็นสิ่งที่กระทำได้ยาก เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงนั้น ขึ้นอยู่กับฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ดังนั้นเราจึงคาดหวังว่าจะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้มาเป็นแนวทางในการเลือกใช้และจัดการการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อที่จะสามารถมีเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ทดแทนกันได้ตลอดทั้งปี ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงด้วย

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1. สัณนิษฐานของชีวมวล

2.1.1. เชื้อเพลิงชีวมวล

Biomass หรือที่ภาษาไทยเรียกว่า ชีวมวล หมายถึงวัสดุอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ สามารถกล่าวได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงเก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์นำมาใช้ในการทำอาหารและให้ความร้อน ซึ่งในปัจจุบันเราสามารถพูดได้ว่า พลังงานชีวมวลถือเป็นแหล่งพลังงานสมัยใหม่ที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล เราสามารถพบชีวมวลได้รอบๆ ตัวเรา อาทิเช่น ต้นไม้ หญ้า และพืชทะเลต่างๆ และมูลสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชีวมวลเกิดขึ้นจากพืช หรือ สิ่งมีชีวิตที่ได้เติบโตผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยที่พืชร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดเป็นคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) เกล็ดที่ก่อเกิดจะกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ และทำให้เกิดบล็อกโครงสร้างของชีวมวล

ในปัจจุบันโดยภาพรวมแล้วชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ถูกใช้มากที่สูดนับเป็นอันดับที่ 4 รองจากน้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ถึง 13 % ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้โดยมนุษย์ ซึ่งส่วนใหญ่การใช้ชีวมวลในโลกกำลังพัฒนา คือ จะใช้ในแง่ของความร้อน อาทิเช่น ในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีโรงไฟฟ้าชีวมวลประมาณ 350 แห่ง ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 7,500 เมกกะวัตต์ ยิ่งไปกว่านี้บริษัทต่างๆ ประมาณ 250 แห่ง ยังได้นำชีวมวลมาผลิตเป็นไฟฟ้าซึ่งมีประมาณ 8 % โดยใช้ระบบ โคอเจนเนอเรชัน ส่วนในยุโรปมีการใช้พลังงานจากชีวมวลโดยคิดเป็นปริมาณเทียบเท่าน้ำมันดิบหรือประมาณ 25.4 ล้านตัน และคาดว่าจะมีแนวโน้มการใช้มากขึ้นซึ่งเทียบเท่าน้ำมันดิบประมาณ 75 ล้านตันภายในปี 2005 ซึ่งแหล่งชีวมวลที่สำคัญในสหภาพยุโรป คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ในอนาคตอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานจากชีวมวลจะผลิตไฟฟ้าโดยใช้กังหันแก๊สแบบ Combined-Cycle แทนการผลิตด้วยกังหันไอน้ำแบบธรรมดาที่มีใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพแล้วจะมีประสิทธิภาพที่น้อยกว่า นอกจากนี้เทคโนโลยีที่อยู่ภายใต้การพัฒนาในปัจจุบันจะสามารถเพิ่มปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตโดยใช้ชีวมวลถึง 50% หรืออาจจะมากกว่า โดยจะต้องมีการวางแผนระยะยาวถึงแหล่งผลิตชีวมวลให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการใช้ชีวมวลในแง่ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีคาร์บอนปล่อยออกมา ดังนั้นจะช่วยลดการเกิดฝนกรดได้ ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากันนี้จะถูกดูดซับจากบรรยากาศในระหว่างวัฏภาคของการเจริญเติบโตของชีวมวล (พืช) ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลจะหมุนเวียนคาร์บอนจากบรรยากาศทำให้ลดผลกระทบจากภาวะ Global Warming นอกจากนี้แล้วการใช้ชีวมวลจะช่วยลดปริมาณขยะหรือวัสดุที่ต้องนำไปฝังกลบ ยิ่งไปกว่านี้การเผาไหม้ชีวมวล ยังก่อให้เกิดเถ้าที่น้อยกว่าการเผาไหม้ถ่านหิน ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเถ้าและมีสถานที่ฝังกลบเถ้าจากชีวมวลสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยและใช้เป็นส่วนผสมของเซรามิกได้อีกด้วย

ประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ อาจกล่าวได้ว่าการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงถือเป็นการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรซึ่งนอกจากจะเพาะปลูกพืชตามปกติแล้ว ยังสามารถปลูกพืชพลังงานให้เป็นรายได้พิเศษอีกทางหนึ่งด้วยและยังสามารถสร้างงานได้อย่างมากมายในชนบท นอกจากนี้ในชนบทแล้วในภาคอุตสาหกรรม การผลิตพลังงานจากชีวมวลยังสร้างงานที่ต้องการความชำนาญสูงเพื่อการผลิตอุปกรณ์ การปฏิบัติงานในโรงงานรวมถึงผู้ขายอุปกรณ์ทางการเกษตร

2.1.2. ศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทย

ปริมาณชีวมวลที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยพบว่า จะแปรผันขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ซึ่งจะสามารถประเมินผลได้จากผลคูณของผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตไปเป็นพลังงานชีวมวลซึ่งจะแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตทางการเกษตรเป็นชีวมวล[2]

Crop	Residue	Crop / Residue Ratio	Energy content (MJ /kg)
Rice	Husk	0.267	14.4
	Straw	0.695	15.11
Sugar Cane	Bagasse	0.291	7.99
Maize	Top & Trashier	0.215	17.41
	Corn Cob	2	17.71
Cassava	Stalk	0.088	18.42
Mungbean	Stalk & Steam	3.2	14.9
Coconut	Fiber	0.42	15.99
	Shell	0.12	17.62
Groundnut	Shell	0.323	12.68
Soybean	Stalk	0.394	19.46
Cotton	Stalk	3.232	19.25
Sorghum	Leaves & Stem	1.2	19.25
Oil Palm	Empty Bunches	0.234	4.41
	Fiber	0.18	9.63
	Shell	0.073	13.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยได้ใช้ข้อมูลจากสถิติของประเทศไทย ปีเพาะปลูกที่ 2538/39 ซึ่งรวบรวมโดยศูนย์สารสนเทศทางการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร มาดำเนินการประเมินปริมาณชีวมวลประเภทต่างๆ ยกเว้น ไม้พื้น ได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด ลำต้นมันสำปะหลัง ชานอ้อย เยื่อใยและเปลือกผลมะพร้าว และเยื่อใยและเปลือกผลปาล์ม ได้ศึกษาภาพของชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆยกเว้น ไม้พื้น ที่ผลิตได้ภายในประเทศ ปีเพาะปลูก 2538/39[2]

ชนิด ผลผลิต	ปริมาณ (1,000ตัน)	ชีวมวล		พลังงานทั้งหมด	
		ประเภท	ปริมาณ(1,000 ตัน)	(1000 Gj)	(1000 toe)
ข้าวเปลือก	22,015	แกลบ	5,878.14	84,645.16	2,003.72
มะพร้าว	1,413	กาบมะพร้าว	593.47	9,489.59	224.64
		กะลามะพร้าว	169.57	2,987.82	70.73
มันสำปะหลัง	17,388	ลำต้นมันสำปะหลัง	1,530.12	28,184.90	667.19
อ้อย	57,974	ชานอ้อย	16,870.36	134,962.91	3,194.84
ข้าวโพด	4,155	ชังข้าวโพด	8,309.04	147,153.10	3,483.41
ปาล์มน้ำมัน	2,255	ทะลายปาล์ม	527.78	2,327.49	55.1
		เยื่อใยปาล์ม	405.98	3,909.60	92.55
		กะลาปาล์ม	164.62	2,212.49	52.37
รวม	105,200		34,449.08	415,873.06	9,844.55

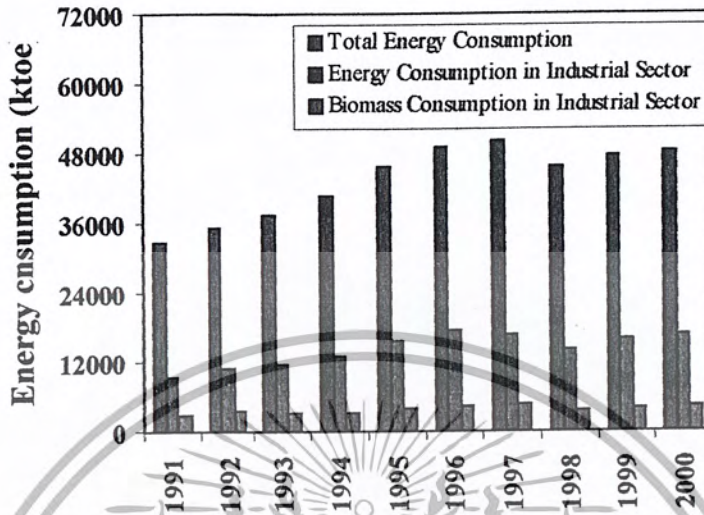
จากตารางจะเห็นว่าปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้รวมทั้งประเทศมีจำนวนประมาณ 34.45 ล้านตัน ซึ่งสามารถประเมินเป็นพลังงานได้ประมาณ 415,870 ล้านล้านจูล หรือเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 9.84 ล้านตัน ซึ่งชีวมวลส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ก็คือ ชานอ้อย ซึ่งมีปริมาณถึง 16.87 ล้านตัน หรือเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 3.19 ล้านตัน รองลงมาก็คือ ชังข้าวโพด โดยมีปริมาณการผลิตเท่ากับ 8.31 ล้านตัน หรือเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 3.48 ล้านตัน และรองลงมาอีกชนิดหนึ่งก็คือ แกลบซึ่งมีปริมาณการผลิตเท่ากับ 5.83 ล้านตันหรือเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 2 ล้านตัน

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งจากสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทยตามรายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2543 จัดทำโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน แสดงความต้องการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้พื้น แกลบ และชานอ้อย) ของภาคอุตสาหกรรมและภาคที่อยู่อาศัยเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานทั้งประเทศ ซึ่งคิดเป็น 24 % โดยแบ่งออกเป็นการใช้ในภาคอุตสาหกรรมประมาณ 9 % และในภาคที่อยู่อาศัยประมาณ 15 % โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมได้มีแนวโน้มในการใช้เชื้อเพลิง

ชีวมวลแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ดังกราฟที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงชีวมวลเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยคิดเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศ



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานชีวมวล พลังงานฟอสซิล และพลังงานทั้งหมดภายในประเทศ[1]

ตารางที่ 2.3 ราคาชีวมวล[2]

ชนิดของชีวมวล	ราคา (บาท / ตัน)
ไม้ฟัน	240 - 1,000
ถ่าน ไม้	400 - 6,000
เกลบ	100 - 200
ฟางข้าว	40 - 150
ชานอ้อย	130 - 200
คั้นอ้อย	50
ซังข้าวโพด	350 - 500
คั้นข้าวโพด	50
เส้นใย / เปลือกปาล์ม	40 - 200
เส้นใย / เปลือกมะพร้าว	30 - 200
ลำต้นมันสำปะหลัง	40
กากถั่วเหลือง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสำรวจการใช้พลังงานชีวมวลภายในภาคอุตสาหกรรมของศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทยในปี 2541 พบว่าชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมักจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานนั้นๆ หรือเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถหาได้จากโรงงานบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นราคาเชื้อเพลิงชีวมวลจึงมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยราคาเชื้อเพลิงชีวมวลในแต่ละท้องถิ่นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะทางจากแหล่งผู้ผลิตถึงผู้ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.2. การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์

ชีวมวลสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานได้โดยผ่านกระบวนการหลักๆ 2 กระบวนการ คือ

2.2.1. การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการทางชีวภาพ

ชีวมวลที่นำมาผ่านกระบวนการทางชีวภาพได้แก่ ของเหลือทิ้งทางการเกษตร น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร ขยะ และมูลสัตว์เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานเช่น ก๊าซชีวภาพ ก๊าซไฮโดรเจน และแอลกอฮอล์ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยเฉพาะในช่วงการขาดแคลนพลังงานและราคาน้ำมันเพิ่มสูงมากขึ้น ตลอดจนเพื่อการลดสภาวะมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้นทุกวันในปัจจุบัน

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นอกจากนี้ยังมีก๊าซอื่นปะปนอยู่อีกบ้าง อาทิเช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่า (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ[2]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
มีเทน (CH_4)	60-70
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	40-30
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	0.05-2
อื่น ๆ	1
คุณสมบัติด้านการเผาไหม้	
ค่าความร้อน (MJ/Kg)	25-28
Octane Number	115-125
Ignition Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	640-840
Flame Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2,000
Flammability Limit ($^{\circ}\text{C}$)	15-May
Flame Speed (m/s)	0.27-0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะพบว่าคุณสมบัติในการติดไฟจะขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทนเป็นสำคัญ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ค่อนข้างเสถียรและไม่ติดไฟ ซึ่งจากคุณสมบัตินี้ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 60 จะมีค่าความร้อนประมาณ 5,700 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นก๊าซชีวภาพต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถให้ค่าความร้อนเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.6 ลิตร หรือถ่านไม้ชั้นดีประมาณ 0.7 กิโลกรัม หรือ 1.3 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงในกรณีนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมาจากขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่ไม่มีอากาศหรือไม่มีออกซิเจนโดยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งสามารถพบได้ตามแหล่งต่างๆ ตามธรรมชาติ เช่น หนอง คลอง บึง ทะเล หรือตามกองขยะมูลฝอยตลอดจนในกระเพาะอาหารสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย เป็นต้น ทั้งนี้องค์ประกอบหรือคุณภาพของก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในชีวมวล จุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมดังแสดงดังสมการเคมีต่อไปนี้



ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีอากาศโดยแบ่ง จุลินทรีย์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (Nonmethanogenic Bacteria) ซึ่งได้แก่กลุ่ม Fermentative Bacteria หรือ Hydrolytic Bacteria และกลุ่ม Acetogenic Bacteria กลุ่ม Homoacetogenic Bacteria และกลุ่ม Hydrogen Producing Bacteria เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ที่มีอากาศและไม่มีอากาศ ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในช่วงระหว่าง 4.0 - 6.5 และยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดีอีกด้วย รวมถึงยังมีการเจริญเติบโตที่สูง ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในที่ไม่มีอากาศหรือขาดออกซิเจน (Obligate Anaerobic Bacteria) ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในช่วงระหว่าง 6.5 - 7.8 และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้น้อย รวมถึงมีการเจริญเติบโตที่ช้า

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน จะเริ่มตั้งแต่จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่สร้างมีเทนทำการย่อยสลายชีวมวลก่อน ซึ่งชีวมวลจะประกอบด้วยสารอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic Matters) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เป็นต้น ให้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เป็นต้น ให้เป็นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กถึงกลาง เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย กรดอะมิโน น้ำตาลอิสระ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ และที่สำคัญที่สุดคือ กรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิก กรดอินทรีย์อื่น ๆ นอกเหนือไปจากกรดอะซิติกที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม สุดท้ายก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติกอีกทีหนึ่ง โดยการทำงานของ จุลินทรีย์กลุ่ม Acetogenic Bacteria (หรือ Acetogens) ซึ่งอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาซึ่งกันละกัน (Symbiosis) กับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนกลุ่มที่ใช้ไฮโดรเจน (Hydrogen Utilizing Methanogens) ซึ่งสามารถเปลี่ยนอะซิเตตและไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ



หรือ



เนื่องจากกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพเป็นแบบไม่ใช้อากาศ และมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นไม่มาก (โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการย่อยสลายแบบที่ใช้อากาศ) กล่าวคือ ปริมาณสารอินทรีย์ ในรูปของ COD (Chemical Oxygen Demand) 1 กิโลกรัมจะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซชีวภาพได้ 0.5 ลูกบาศก์เมตร และจะเกิดเป็นตะกอนของเซลล์จุลินทรีย์เพียง 0.1 กิโลกรัมเท่านั้น กระบวนการนี้จึงเหมาะที่จะใช้ในการบำบัดของเสีย หรือน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงเพราะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดอีกด้วยที่ยังไม่จำเป็นต้อง ทำการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินบ่อยครั้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบ ไม่มีอากาศ

- สารอินทรีย์ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดโดยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) เข้าสู่ระบบ เป็นปัจจัยที่รักษาเสถียรภาพให้คงที่ การปรับเปลี่ยนปริมาณสารอินทรีย์สามารถทำได้ โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำทิ้งขาเข้าสู่ระบบ หรือโดยการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์

- ความเป็นกรด - ด่าง (pH) เนื่องจากในระบบประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งมีความเป็นกรด - ด่าง ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต และเมตาบอลิซึมแตกต่างกันดังกล่าวมาแล้วข้างต้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่างของระบบเกิดจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนสู่ระบบมาก

เอกสารนี้เป็นไป จุลินทรีย์ที่สร้างกรดจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวก จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทันที จึงเกิดการสะสมของกรด ทำให้ค่าความเป็นกรด - ค่าของระบบลดลง

- ความเป็นด่าง (Alkalinity) เป็นค่าความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตรอน (Proton) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงเสถียรภาพของระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่ามีความสามารถในการรักษาค่าความเป็นกรด - ค่าอยู่ในตัว (Buffering Capacity) “โดยโดยไม่แกว่งแม้ว่าจะมีการเพิ่มปริมาณกรด ความเป็นด่างที่เหมาะสมกับระบบดังกล่าวนี้มีค่าประมาณ 1,000 – 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

- กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ในการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศมักพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลาง โดยเฉพาะกรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิก ซึ่งในสถานะที่เป็นกลาง กรดเหล่านี้อยู่ในรูปของอะซิเตต บิวทีเรต และโพรพิโอเนต ที่มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนน้อยกว่าในรูปของกรดอิสระในระบบจึงต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพราะถ้ามีการสะสมของสารดังกล่าวมากกว่าการใช้จะมีผลให้สมดุลของระบบเสียไป ทำให้ค่าความเป็นกรด - ค่าของระบบลดลงจนเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน โดยทั่วไปปริมาณอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

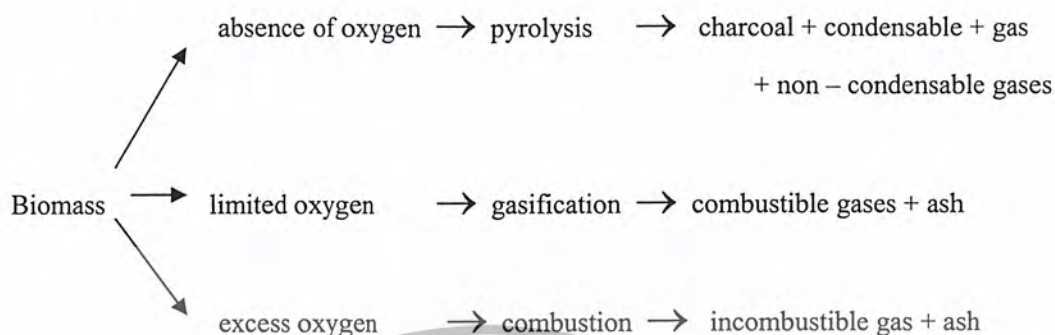
- การใช้ประโยชน์ในรูปของไฟฟ้าและพลังงานกล โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จะถูกเผาแล้วนำความร้อนไปผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันสูง ใช้หมุนกังหันไอน้ำได้พลังงานกลไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือโดยการอัดก๊าซชีวภาพ ให้มีความดันสูงแล้วจึงเผาไหม้กับอากาศได้ก๊าซร้อน ไปหมุนกังหันก๊าซเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบดังกล่าวนี้มีความคุ้มทุนเมื่อระบบมีขนาดใหญ่ ส่วนระบบที่มีขนาดกลางหรือขนาดเล็กใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในจะมีความเหมาะสมกว่าเพราะมีระบบที่ไม่ซับซ้อน และการลงทุนต่ำ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของระบบเหล่านี้มีค่าประมาณร้อยละ 25 – 30 โดยอายุการใช้งานของเครื่องยนต์นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณไฮโดเจนซัลไฟด์ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในก๊าซชีวภาพ ซึ่งอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนในส่วนต่างๆ ที่เป็นโลหะ

- การใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม หลักการของระบบนี้ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าสูง และศักยภาพการลงทุนจะสูงขึ้นตามไปด้วย ระบบนี้มีความร้อนที่บางส่วนถูกเก็บกลับไปใช้งานโดยตรงในกระบวนการผลิต (ถ้าความร้อนทั้งเป็นไอน้ำความดันต่ำ) หรือถูกนำกลับไปผลิตไอน้ำ (ถ้าความร้อนทั้งเป็นไอเสียนอน) แล้วจึงนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2. การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการทางความร้อน

กระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process) ถือเป็นการเปลี่ยนรูปโดยใช้ความร้อน ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีหลักๆคือ Gasification, Pyrolysis และ Combustion



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยผ่านกระบวนการทางความร้อนแบบต่างๆ[6]

- *Gasification* เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญอย่างหนึ่งทางความร้อน ก๊าซที่ได้จากเตาผลิตก๊าซหรือ Gasifier เรียกว่า Producer Gas ซึ่งมีก๊าซที่เผาไหม้หลักที่สำคัญคือ CO , H_2 , และ CH_4 พลังงานจาก Producer Gas สามารถนำไปใช้ในการเผาไหม้ในกระบวนการให้ความร้อนโดยตรงหรือสามารถใช้โดยทางอ้อม โดยนำไปขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในได้อีกด้วย ในอนาคตการใช้พลังงานจากชีวมวลจะกลับมามีความสำคัญอย่างมากอีกเมื่อพลังงานฟอสซิลมีราคาแพงและหายากขึ้น ข้อดีของการใช้พลังงานชีวมวล คือ จะช่วยลดสถานะเรือนกระจกของโลกได้

Gasification เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเตาหรือ Gasifier การเกิดกระบวนการ Gasification นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ Heterogeneous และ Homogeneous คือเป็นปฏิกิริยาระหว่างสสารที่มี 2 สถานะมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน หรืออาจจะอยู่ในสถานะเดียวกันด้วยก็ได้ โดยทั่วไปในการเกิดกระบวนการ Gasification นั้นจะใช้ Oxygen ที่มีอยู่ในอากาศ (ในปริมาณที่จำกัด) ไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงให้เกิดความร้อนและก๊าซ CO_2 เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาเคมีอื่นๆอีกต่อไป การเรียกชื่อเตากำเนิดก๊าซสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

1. Air – Blown Gasification โดยใช้อากาศธรรมดาเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในชั้นการเผาไหม้ก่อน หลังจากนั้นความร้อนและ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากชั้นเผาไหม้จะถูกใช้เพื่อผลิต Producer Gas โดยกระบวนการ Gasification ก๊าซทั้งหมด ที่จะได้เป็น Low - BTU – Gas โดยมี N_2 ที่อยู่ในอากาศเป็นส่วนประกอบหลักโดยจะมีอยู่ราว 60-70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

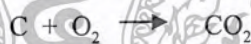
2. Oxidative Gasification เป็นการใช้ออกซิเจน O_2 แทนอากาศ ซึ่งจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Producer Gas สูงขึ้นเพราะไม่มี N_2 ปะปนมา การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะสามารถทำได้ดีกว่า ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญเพราะราคาของ O_2 บริสุทธิ์แพงเมื่อเทียบกับอากาศธรรมดาและควรใช้วัตถุดิบเป็นถ่านหินเท่านั้น

3. Steam Gasification หมายถึง การใช้ไอน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณ Producer Gas โดยเฉพาะ H_2 แต่อุณหภูมิในเตาต้องสูงพอหรือไม่ควรต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถทำให้ปฏิกิริยาเคมีดำเนินไปได้อย่างดี

4. Hydrogasification หมายถึง Gasification ที่ใช้ Hydrogen ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงไม่มีการใช้ O_2 หรืออากาศ โดยปกติจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส และต้องใช้ความดันเข้าช่วย ซึ่งความดันในเตาปฏิกรณ์บางชนิดอาจจะสูงมากถึง 20 Mpa ก๊าซที่ได้เป็น CH_4 ที่ได้ส่วนมากจะถูกใช้ป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel) ต่อไป

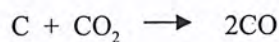
ซึ่งในเตาปฏิกรณ์ทั่วไปสามารถถูกแบ่งออกเป็นชั้นที่สำคัญ ๆ ได้ 4 ชั้น โดยขึ้นกับอุณหภูมิ ปฏิกิริยา และ ผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น ในความเป็นจริงแต่ละชั้นอาจจะเหลื่อมล้ำ (Overlap) กันอยู่ได้ โดยแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ดังนี้

1. ชั้นเผาไหม้ (Combustion or Hearth Zone) ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจน ที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัด (Partial Combustion) ด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 900 – 1,200 องศาเซลเซียส ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลาย ผลผลิตหลักที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้คือ ความร้อนแก่ถ่าน

2. ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone) ก๊าซ CO_2 ที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้ก็ไหลเข้าสู่ชั้น รีดักชัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในชั้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนก๊าซ CO_2 ให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้โดยก๊าซ CO_2 จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิด CO ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาในสมการนี้เรียกว่า Boudouard (Reduction) Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของ CO สามารถทำได้โดยการ ฉีดไอน้ำร้อนเข้าไป ซึ่งไอน้ำจะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนดังสมการ



ได้ก๊าซ CO และ H_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนและจะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส อนึ่งภายใต้ความดันสูง H_2 อาจจะไปรวมตัวกับคาร์บอนและผลิต CH_4 ออกมาได้ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction โดยจะเกิดขึ้นได้ที่ความดันสูง ๆ และอุณหภูมิต่ำ

3. ชั้นกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone) ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิง ทำให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่าง ๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วย เมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน ก๊าซที่เผาไหม้ได้ และไม้ไผ่ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ที่ประมาณ 135 – 600 องศาเซลเซียส ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือ คาร์บอนในรูปแบบถ่าน (fixed Carbon) ดังสมการ



4. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone) ในชั้นนี้อุณหภูมิต่ำพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่าง ๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้น Pyrolysis จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100 – 135 องศาเซลเซียส

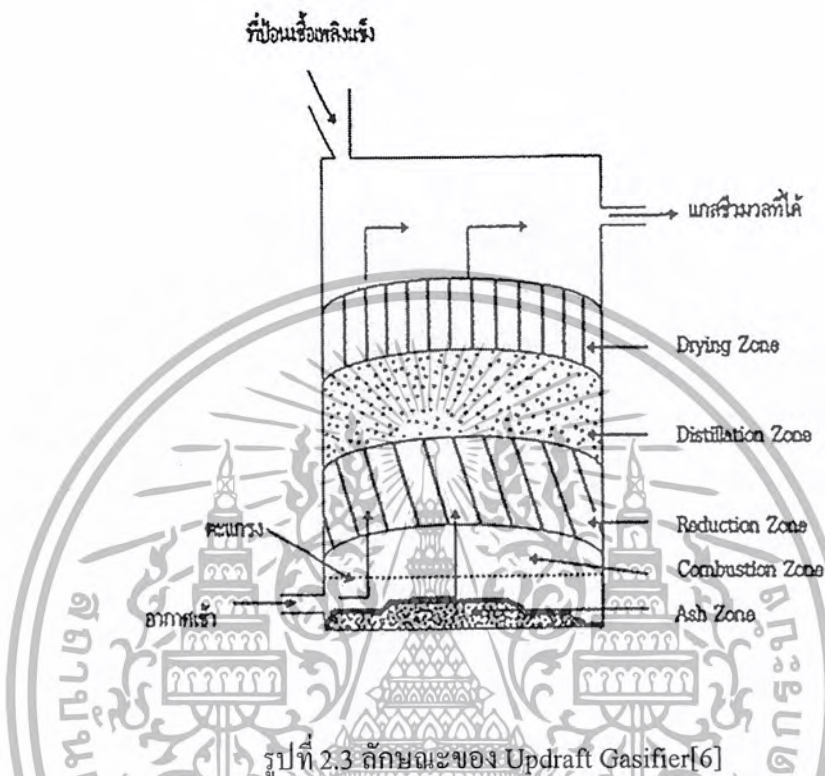
เราสามารถแบ่งชนิดของเตาเผาชีวมวล (Type of Gasifier) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 แบบใหญ่ ๆ ตามชนิดการไหลของ Producer Gas และการจัดเรียงตัวของชั้นต่าง ๆ ภายในเตาผลิตก๊าซ คือ

1. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เตาเผาชีวมวลนี้เป็นแบบง่ายที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นเผาไหม้ ชั้นรีดักชัน ชั้นกลั่นสลาย และชั้นลดความชื้น เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเตาและอากาศถูกส่งเข้ามาทางด้านล่างของเตา การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นที่จุดแรกของการสัมผัสกับอากาศ CO_2 จากชั้นเผาไหม้จะผ่านขึ้นไปยังชั้นรีดักชัน ซึ่งมีคาร์บอนที่ร้อนอยู่มาก CO_2 ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้เป็น CO จุดเด่นของเตาเผาแบบนี้คือ สามารถเพิ่มปริมาณ Producer Gas ได้โดยการใช้ไอน้ำเข้าช่วย นอกจากนั้นยังสามารถใช้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูงได้ อาจสูงได้ถึง

50 % อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกจากเตาอ่อนข้างจะต่ำ คือประมาณ 120 – 150 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส แต่ปัญหาที่สำคัญคือสารระเหยที่ออกมาพร้อมกับ Producer Gas ซึ่งจะเป็นอุปสรรคที่สำคัญมากในการนำไปเดินเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพราะอาจจะเกิดการอุดตันและทำความเสียหายให้แก่เครื่องยนต์ได้

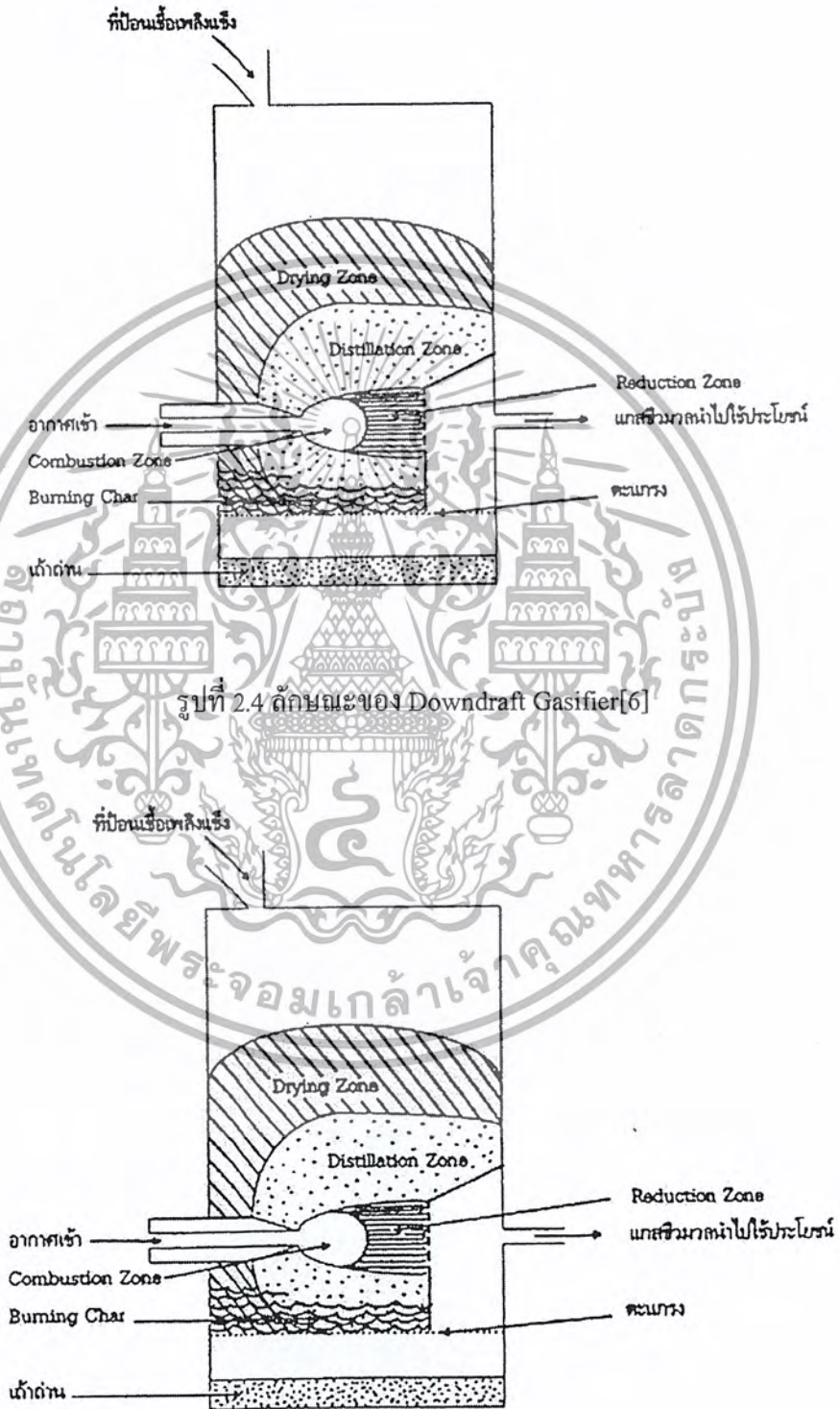


รูปที่ 2.3 ลักษณะของ Updraft Gasifier[6]

2. เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) เตาชนิดนี้เป็นแบบที่ใช้ทำการวิจัยและใช้งานจริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไปมากที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นรีดักชัน ชั้นเผาไหม้ ชั้นกลั่นสลาย และชั้นลดความชื้น อากาศจะถูกส่งให้ไหลสู่ชั้นเผาไหม้ และไหลลงไปสู่ชั้นรีดักชันซึ่งอยู่ด้านล่าง สารระเหยจากชั้นกลั่นสลายที่อยู่เหนือชั้นเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 900 – 1,200 องศาเซลเซียส สารระเหยต่าง ๆ จะถูกเผาไปทำให้ Producer Gas ที่ผลิตออกมาได้นั้นปราศจากสารระเหยจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ข้อเสียเปรียบของเตาชนิดนี้ คือ จะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงในชั้นเผาไหม้จึงต้องใช้วัสดุที่ทนความร้อนสูง อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกมาจากเตาจะค่อนข้างสูงมาก คือประมาณ 450 – 550 องศาเซลเซียส ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่จึงมีความจำเป็น

3. เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Crossdraft Gasifier) เตาแบบนี้จะเป็นแบบที่เล็กที่สุดและเบาที่สุดใน 3 แบบ ทิศทางการไหลของอากาศจะตั้งฉากกับแนวแกนของเตา อากาศจะถูกส่งตรงไปยังชั้นเผาไหม้ และต่อไปยังชั้นรีดักชัน ซึ่งทั้ง 2 ชั้นนี้ จะเป็นชั้นเล็ก ๆ วางเรียงกันตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แวนอน อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกมา จากเตาจะไม่สูงมากเหมือนเตาแบบไหลลง ชีวมวล จะถูกป้อนจากทางด้านบนของเตาเช่นเดียวกันกับเตาทั้ง 2 แบบที่กล่าวมา ข้อดีของเตาแบบนี้คือ สามารถผลิต Producer Gas ได้เร็วกว่าเตาอีก 2 แบบ และอุณหภูมิในเตาจะไม่สูงมากนัก



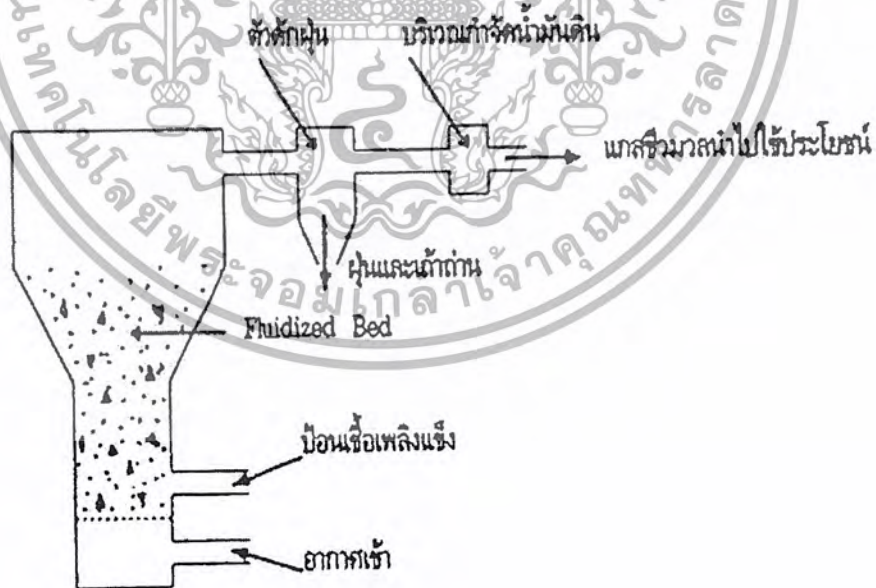
รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Downdraft Gasifier[6]

รูปที่ 2.5 ลักษณะของ Crossdraft Gasifier[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่หอสมุดกลาง สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาของเอกสารนี้ในทางใดๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่หอสมุดกลาง สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

4. เตาเผาผลิตก๊าซชีววมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดก๊าซซิไฟเออร์ (Fluidized Bed Gasifier) จากเตาเผาที่กล่าวมาแล้วทั้ง 3 แบบข้างต้น การทำงานของกระบวนการในระบบจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีและสภาพทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิง โดยที่จะเกิดปัญหาทางด้าน Slag ที่เกิดขึ้นมากเกินไป จึงก่อให้เกิดการอุดตันในเตาเผาบ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำเตาเผาแบบ Fluidized Bed มาใช้เตาเผาแบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อเราเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านสูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้น มีลักษณะคล้ายกับของไหล ในขณะที่เริ่มติดไฟนั้น Bed จะเริ่มร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจึงจะถูกป้อนเข้าไปภายในเตาอย่างสม่ำเสมอ

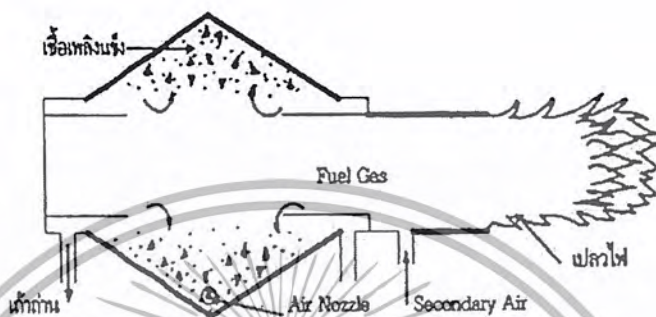
ภายในเตาเผาจะถูกใส่วัสดุเฉื่อย ได้แก่ทราย หรือวัสดุเร่งปฏิกิริยาได้แก่ หินปูน ซึ่งจะช่วยในการเผาถ่ายเทความร้อน และช่วยในการทำความสะอาดก๊าซที่ได้ใน Bed เตาเผาแบบนี้จะมีข้อดีคือ การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาจะกระทำได้ง่าย จึงสามารถรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้ ทำให้ไม่เกิดการจับตัวของ Slag ที่เกิดขึ้น จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีขี้เถ้ามากได้ โดยที่ถ้าเป็นเตาเผาแบบอื่นจะเกิดปัญหา ข้อเสียของเตาเผาแบบนี้คือ ก๊าซชีววมวลที่ออกจากเตาเผาจะมีปริมาณเถ้าและขี้เถ้าปนออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเตามีค่าสูงจึงต้องมีการนำ Cyclone หรือ Bag House มาใช้กับระบบด้วย



รูปที่ 2.6 ลักษณะของ Fluidized Bed Gasifier[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบ Suspended Gasifier การเผาไหม้ในเตาเผาแบบนี้จะมีลักษณะแขวนลอย โดยจะใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซ ภายในเตาเผาจะใช้ลักษณะการหมุนวนของอากาศในลักษณะแขวนลอยเพื่อที่จะให้ก๊าซและเชื้อเพลิงแข็งมีโอกาสสัมผัสกันมากที่สุด เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาแบบนี้ได้



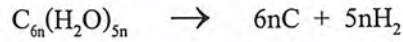
รูปที่ 2.7 ลักษณะของ Suspended Gasifier[6]

Pyrolysis คือ กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีววมวลในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของกระบวนการ Pyrolysis จะทำให้เกิดผลผลิตออกมา 3 ประเภทคือ ของแข็ง เช่น (Char, Charcoal หรือ ถ่าน) ของเหลว (น้ำมันสารระเหย หรือกรด) และก๊าซต่างๆ โดยที่อัตราส่วนของผลผลิตที่ได้ นั้น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีววมวล และสภาพของการเกิดปฏิกิริยา โดยปัญหาหลักของวิธี Pyrolysis คือสามารถสร้างได้เพียงขนาดเล็กๆเท่านั้น ส่วนก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยานั้นมีพลังงานต่ำ โดยตัวอย่างของกระบวนการทาง Pyrolysis คือการผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากชีววมวลและกระบวนการ Pyrolysis ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือถ่าน โดยถ่านที่ได้ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงท้องถิ่นที่เกิดชีววมวลและหาได้ในเกือบทุกประเภท

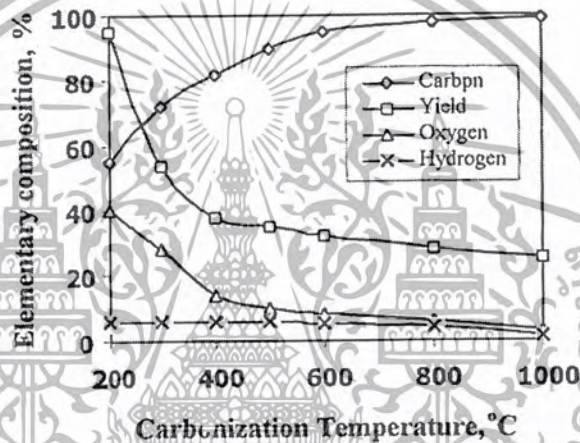
ถ่านที่เกิดจากปฏิกิริยา Carbonization มีขั้นตอน 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นปฏิกิริยาชนิดดูดความร้อน เพื่อไล่ความร้อนขึ้นออกจากชีววมวล ในขั้นตอนแรกจะใช้อุณหภูมิจนถึง 200 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นกระบวนการเตรียมการเกิดปฏิกิริยา Carbonization ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนเช่นกัน ในขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมಿಯในช่วง 170 - 300 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้จะเกิดผลิตภัณฑ์ประเภทก๊าซเป็นส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ส่วนในขั้นตอนที่ 3 ของกระบวนการจะเป็นปฏิกิริยา ประเภทคายความร้อนโดยเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 250 - 300 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนนี้จะเกิดสารพวกน้ำมันดิบและกรด Pyrolygneous

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงนี้องค์ประกอบที่ระเหยได้ที่ยังคงอยู่ในกระบวนการจะถูกขับออกไป ซึ่งจะทำให้ปริมาณคาร์บอนของถ่านเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ Carbonization ของชีวมวลมีดังนี้



และปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของถ่านที่ได้ คือ ปริมาณความชื้นจากชีวมวลที่ป้อน ชนิดของชีวมวลและองค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้คุณสมบัติของถ่านที่ได้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ในถ่านและอุณหภูมิของปฏิกิริยา Carbonization ดังรูปที่ 2.8



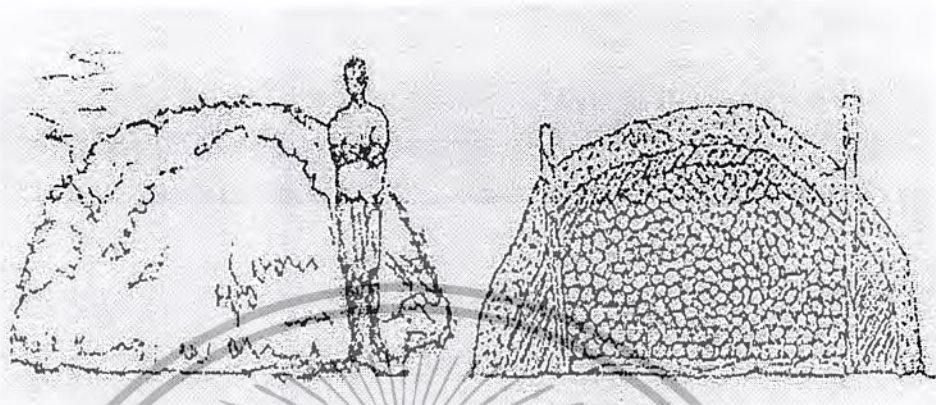
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยา Carbonization [7]

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำปริมาณผลผลิตที่ได้จะมีปริมาณสูง แต่ปริมาณคาร์บอนในผลผลิตต่ำ ปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนจะมีค่าสูงตามลำดับ และจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบที่ระเหยได้ของถ่านจะขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนในผลิตภัณฑ์ถ่านที่ได้

ซึ่งถ่านที่มีความบริสุทธิ์สูงจะใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นในช่วง 400 – 500 องศาเซลเซียส สัดส่วนของกรด ทาร์ และก๊าซระเหยได้ที่คายออกมาจะมากขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ผลผลิตของถ่านที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นด้วย ซึ่งมีคาร์บอนมากกว่า 70 % อย่างไรก็ตามถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูงมากก็จะยิ่งเปราะ สามารถแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยได้ง่าย ซึ่งจะทำให้เกิดการเปราะแตกในระหว่างขนส่ง ถ่านที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีสารระเหย (Volatile Matter) ต่ำ และมีการเผาไหม้ที่สะอาด คือ มีควันน้อยมากแต่สามารถไหม้ติดไฟได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาที่ใช้เผาแบบเตาเผาดินแบบดั้งเดิมมีด้วยกัน 2 ประเภท ที่ง่ายที่สุดคือ ใช้ไม้และฟาง กองบนพื้นและคลุมด้วยดินเรียกว่าเป็นเตาเผาแบบ กองดิน (Earth – Mound Kiln) อีกประเภทหนึ่งจะ ขุดดินเป็นหลุมแล้วใส่เศษ ไม้ลงไปและเอาดินปิดคลุม เรียกว่าเป็นเตาเผาแบบ Pit Kiln ดังรูปที่ 2.9



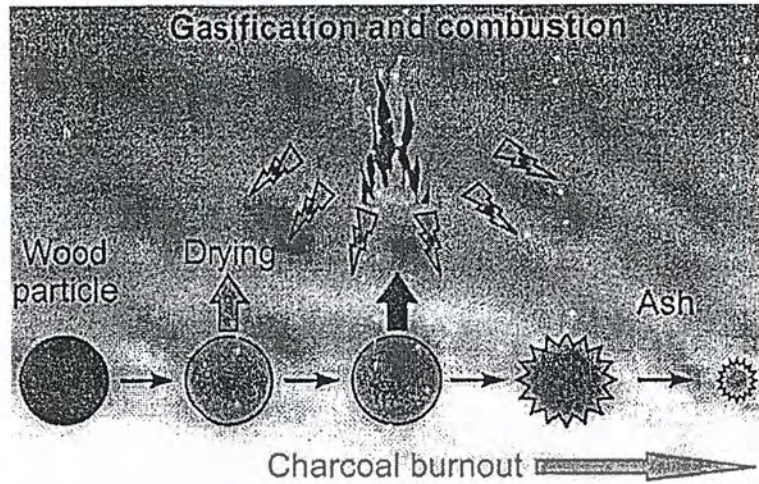
รูปที่ 2.9 เตาเผาด่านแบบดั้งเดิม[2]

ขั้นตอนการเผาไหม้การติดไฟมักถึงที่ก้นเตาหรือในบางกรณีจุดไฟที่ส่วนบนโดยจะ เริ่มเผาไหม้จำนวนเล็กน้อยเพื่อให้เกิดก๊าซร้อนซึ่งช่วยในการเผาไหม้ที่เหลือให้กลายเป็นถ่าน อากาศที่ ทำให้เกิดโซนเผาไหม้จะเข้ามาทางรูที่จะผ่านชั้นดินและชั้นหญ้า โดยรูที่เจาะไว้ทำหน้าที่เป็นทางออก ของควันที่อยู่ในเตา เตาเผาอีกประเภทหนึ่งคือ เตาเผาประเภท Subri Clay – Metal ซึ่งได้ถูกพัฒนาจาก เตาเผาแบบหลุม โดยให้ใช้ท่อโลหะและหลังคาคลุมหลุมหนึ่งด้านข้างหลุมทำให้ดินเหนียวอัดแน่น เพื่อที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของตัวเตา

2.3. การเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด

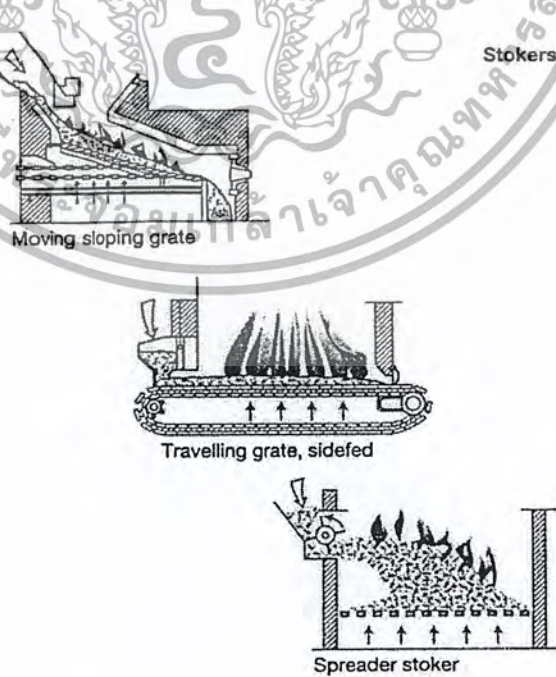
ปัญหาสำคัญอันหนึ่งของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuels) ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิง ฟอสซิลประเภทถ่านหิน หรือเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Fuel) เช่น แกลบ ชี้อ้อย ชานอ้อย ฯลฯ คือ การเผาไหม้ที่ทำได้ค่อนข้างยากและไม่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซเนื่องจาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion คือ ก้อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิว นอกก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 2.9 และเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนก็จะ กลายเป็นขี้เถ้า (Ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผา ไหม้ไม่สมบูรณ์ ต่างกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ที่จะมีการผสมกันของอากาศกับ เชื้อเพลิงก่อนที่เรียกว่า Premixed จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง

เทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จะเป็นการเผาไหม้แบบที่ทำให้เชื้อเพลิงมีการเคลื่อนที่มากขึ้น และทำให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง เพื่อที่จะลดปัญหาดังกล่าวเบื้องต้นระบบที่ว่าคือ เครื่อง Stoker ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบ Slope Grate แบบ Chain & Traveling Grate และแบบ Spreader Stoker ดังรูปที่ 2.11 โดยเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้อยู่บนตะแกรงซึ่งเคลื่อนที่ไปตามกลไกที่ออกแบบไว้ อุณหภูมิการเผาไหม้อยู่ที่ระหว่าง 1,200 – 1,500 องศาเซลเซียส จึงทำให้ระบบเผาไหม้แบบนี้ใช้ได้ไม่ด้นักกับเชื้อเพลิงที่มีปริมาณเถ้า (Ash Content) สูง เพราะจะเกิดการหลอมละลายของเถ้า ทำให้ตะแกรงอุดตันขัดขวางการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้



รูปที่ 2.11 Grate Fired Stoker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเผาไหม้แบบ Pulverized Coal Combustion (PCC) เป็นระบบที่พัฒนามากขึ้น โดยการย่อยถ่านหินให้เล็กลง (ขนาดเล็กกว่า 300 ไมโครเมตร) แล้วเป่าผ่านหัว Burner Nozzle เข้าไปในห้องเผาไหม้ อุณหภูมิการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 1,300 – 1,500 องศาเซลเซียส ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีกว่าเครื่องแบบ Stoker ส่วนต่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม (Overall Thermal Efficiency) โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30 – 50 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของถ่านหินที่ใช้และขนาดของ Boiler เป็นสำคัญ ระบบ PCC นี้ถึงแม้จะช่วยแก้ปัญหาเกาะตัวกันได้ แต่เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ยังคงสูงอยู่จึงทำให้เกิดมลพิษโดยเฉพาะ NO_x ในปริมาณที่สูงอยู่ การควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้จึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะควบคุมที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็นหลัก สำหรับการบำบัดมลพิษจาก SO_2 โดยทั่วไปจะใช้ FGD ช่วยบำบัดก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

สำหรับเทคโนโลยีการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด ได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากสามารถใช้เป็นระบบบำบัด SO_2 ควบคู่ไปกับการเผาถ่านหินได้ โดยเตาเผาแบบนี้จะสามารถผสมถ่านหินหรือวัสดุที่สามารถทำปฏิกิริยาจับ SO_2 ในขณะที่ทำการเผาไหม้ไปพร้อมกันได้ การเผาไหม้ในระบบนี้ถ่านหินจะถูกทำให้เคลื่อนที่ปั่นป่วนด้วยอากาศ (Fluidizing) ไปพร้อมกับวัสดุเบด (Bed Material) ตลอดเวลาขณะที่เผาไหม้ โดยในห้องเผาไหม้จะมีวัสดุเบดดังกล่าวทำหน้าที่รักษาความร้อนให้สม่ำเสมอ และขณะเดียวกันก็จะช่วยขัดสี (Attrition) ถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ออกจากก้อนเชื้อเพลิงตลอดเวลาจึงทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้อย่างหมดจด วัสดุที่ใช้เป็นเบดในเตาเผาแบบนี้จะเป็นวัสดุเฉื่อย (Inert Material) ที่ทนความร้อนได้ดี และขณะเดียวกันก็ทำปฏิกิริยาจับ SO_2 ด้วย ได้แก่ วัสดุจำพวกเซรามิกส์ เช่น หินปูน (Limestone), โดโลไมท์, ทราช และกรวด เป็นต้น

เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยทั่วไปอาจแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบ Bubbling Type และแบบ Circulating Type หรือ Circulating Fluidized Bed , AFB ดังรูปที่ 2.12 และแบบที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายใต้ความดันสูง หรือที่เรียกว่า Pressurized Fluidized Bed , PFB ดังรูปที่ 2.14

เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบ AFBC และ CFBC เป็นเทคโนโลยี ที่ต่างประเทศใช้กันมานานกว่า 60 ปีแล้ว ทั้งในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ข้อได้เปรียบของเตาเผาแบบนี้เมื่อเทียบกับระบบ PCC คือ อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำกว่า โดยเฉลี่ยเตาเผาแบบนี้มีอุณหภูมิการเผาไหม้อยู่ที่ 800 – 900 องศาเซลเซียส จึงทำให้ลดปัญหามลพิษที่เกิดจาก NO_x ได้

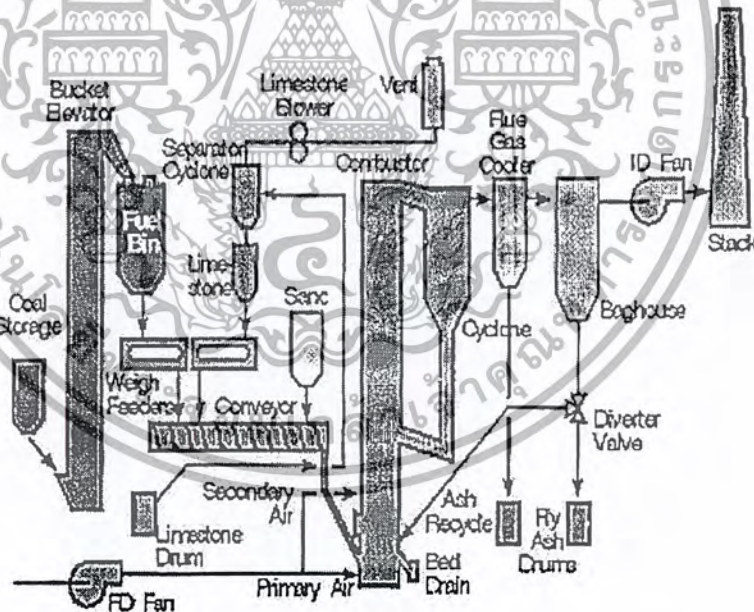
การเผาไหม้แบบหมุนเวียน (Circulating Fluidized Bed Combustion)

การเผาไหม้แบบหมุนเวียนจะมีลักษณะการทำงาน คือ จะนำคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ นำกลับมาเผาไหม้ใหม่เพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีและเหลือคาร์บอนน้อยที่สุด การทำงาน คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศจะถูกกระจายออกเพื่อทำให้ของแข็งมีการเคลื่อนที่คล้ายของไหลแล้วมีการสะสมความร้อนในเบดเพื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาโดย Feeder และลอยตัวขึ้นด้วยแรงยกตัวจากอากาศ เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ขึ้นแรกที่ยังมีคาร์บอนเหลืออยู่ จะถูกแยกออกจากก๊าซต่างๆ ด้วยไซโคลนตัวที่ 1 แล้วนำคาร์บอนที่เหลือกลับมาเผาไหม้ ส่วนคาร์บอนที่เหลือที่ผ่านไซโคลนตัวแรก จะถูกแยกอีกด้วยไซโคลนตัวที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นการเผาไหม้ด้วยเตาเผาแบบ Circulating Fluidized Bed นี้ จึงเหลือคาร์บอนน้อยมาก และประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี ดังรูปที่ 2.9

การเผาไหม้ภายใต้ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Fluidized Bed Combustion)

เป็นปรากฏการณ์ที่ของแข็งขนาดเล็กหรือเบด สัมผัสกับของไหลหรือก๊าซ ที่ความดันบรรยากาศถ้าความเร็วของของไหลค่อนข้างต่ำเบดจะอยู่ในสภาพนิ่ง (ไม่เคลื่อนที่ หรือ Fixed Bed) เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดเบดจะขยับตัวและลอยตัวขึ้นเป็นอิสระ เรียกสภาวะนี้ว่า จุดต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไคซ์เบด โดยที่ความเร็วของไหลที่จุดนี้เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน (Minimum Fluidization Velocity, U_{mf}) ของแข็ง (เบด) ที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ของไหลที่ใช้นี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของไหลก็ได้



รูปที่ 2.12 เตาเผาแบบ Circulating Fluidized Bed Combustor (CFBC)

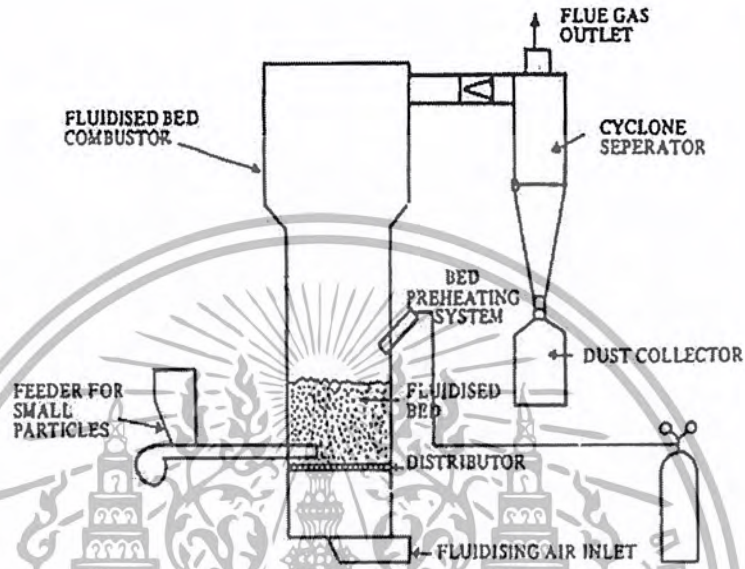
การเผาไหม้แบบใช้ความดัน (pressurized Fluidized Bed Combustion)

โดยในระบบการเผาไหม้จะใช้ความดันในการทำงาน โดยการเพิ่มความดันให้กับอากาศที่เข้า

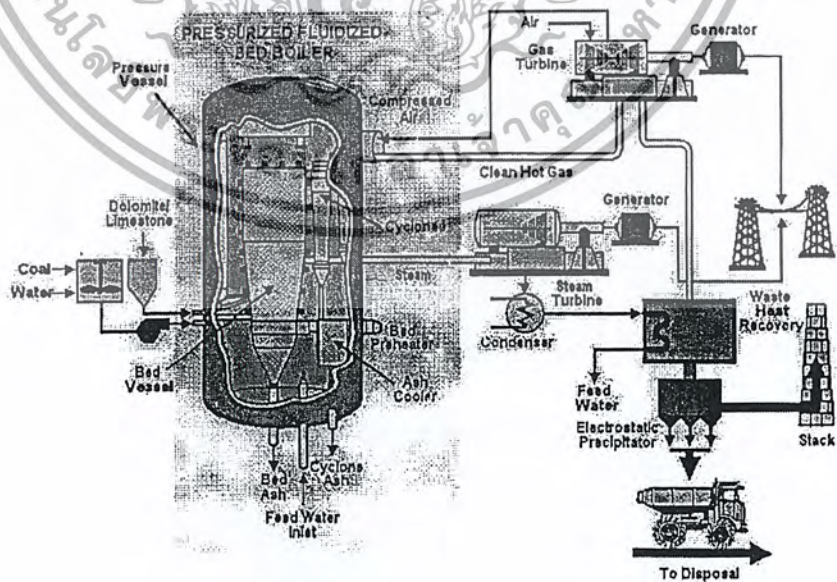
ภายในระบบทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น เนื่องจากอากาศที่อัดจะมีปริมาณ O_2 มากขึ้นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามแต่ไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติ จึงทำให้ในการเผาไหม้ในระดับอุณหภูมิเดียวกันแบบ Atmosphere สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้มากกว่าเดิม ซึ่งผลที่ตามมาจากการเพิ่มความดันจะทำให้ขนาดของเตาเผาเมื่อเทียบกับขนาดเตาเผาของแบบ Atmosphere จะมีขนาดเล็กกว่าทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการทำงานได้ แต่เตาที่ใช้ในการทำงานตามแบบนี้จะต้องสร้างอย่างแข็งแรงขึ้นด้วย เพื่อป้องกันการเสียหายจากความดันที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 เตาเผาแบบ Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC)



รูปที่ 2.14 เตาเผาแบบ Pressurized Fluidized Bed Combustor (PFBC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกันระหว่าง AFBC กับ CFBC จะพบว่า CFBC จะสามารถขยายกำลังการผลิตได้สูงกว่า AFBC ปกติหม้อไอน้ำแบบระบบ CFBC มีขนาด 100 – 200 MW_e ในขณะที่ AFBC มีขนาดไม่เกิน 75 MW_e เนื่องจากระบบ CFBC ใช้ความเร็วอากาศในการฟลูอิดไดซ์สูงกว่า AFBC 2 – 3 เท่า (CFBC ใช้ความเร็วอากาศ 12 – 30 ft/sec) เพื่อช่วยหมุนเวียน Solid Particle จากไซโคลนให้กลับเข้ามาในห้องเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง ขนาดของวัสดุเบดที่ใช้ใน CFBC จะเล็กกว่าใน AFBC (CFBC ใช้ 50–300 ไมโครเมตร, AFBC ใช้ 1,000 – 2,000 ไมโครเมตร) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency) ของ CFBC สูงมากกว่า 98 % แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) เมื่อเทียบกับระบบ PCC โดยเฉลี่ยจะต่ำกว่า 3 – 4 % ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนมากที่ใช้ไซโคลนอันเนื่องมาจากการหมุนเวียนของ Solid Particle ที่เกิดขึ้นตลอดเวลา สำหรับการบำบัด SO₂ ทั้ง CFBC และ AFBC ก็ใช้วิธีการเดียวกันดังได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว แต่อัตราส่วน Ca / S Ratio ของระบบ AFBC จะมีค่าสูงกว่าใน CFBC

สำหรับในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมาเทคโนโลยี PFBC ได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงไฟฟ้า และระบบที่ผลิตทั้ง Heat และ Power ร่วมกัน (Cogeneration System) PFBC เป็นระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดภายใต้ความดันสูง (10 – 16 atm หรือ 1 – 1.5 MPa) ที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ในระบบนี้ทั้งตัว Combustor และ Cyclone จะถูกบรรจุอยู่ใน Pressure Vessel เพื่อให้ระบบอยู่ภายใต้ความดันที่ควบคุม Flue Gas ที่ออกมาจะมีแรงดันมากพอที่จะขับ Gas Turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และขณะเดียวกันก็ผลิตกำลังเพื่อใช้ขับ Compressor เพื่อสร้างแรงดันให้กับระบบ ส่วน Steam ที่ได้ก็จะนำไปขับ Steam Turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย สัดส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจาก Steam Turbine และ Gas Turbine โดยเฉลี่ยเป็น 80 : 20 ข้อได้เปรียบอื่น ๆ ของระบบ PFBC คือ 1. เมื่อระบบอยู่ภายใต้ความดันจะทำให้สามารถลดขนาดของเตาได้ 2. สามารถลดอัตราส่วน Ca / S Ratio ที่ใช้จับ SO₂ ได้ และ 3. อัตราการปล่อย NO_x น้อยกว่าระบบ AFBC และ CFBC สำหรับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ PFBC นั้นมากกว่า 40 % และสามารถทำได้ถึง 45 % ส่วน Capacity ของเตาเผาแบบนี้ สามารถทำได้สูงถึง 250 – 360 MW_e

2.4. ทฤษฎีการเผาไหม้

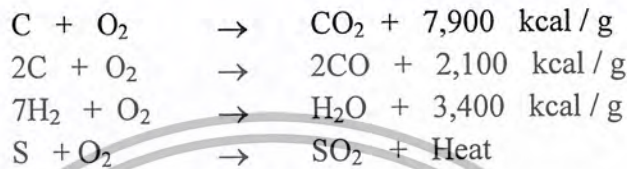
การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยารวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับเกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วน ๆ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากและอันตราย ในทางปฏิบัติจะใช้อากาศซึ่งหาได้ในราคาถูกแทน โดยในอากาศจะมีก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่น ๆ จะมีปะปนอยู่น้อยมาก ซึ่งออกซิเจนมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในอากาศร้อยละ 21 และไนโตรเจนมีอยู่ในอากาศร้อยละ 79 โดยปริมาตร หรือ ประมาณร้อยละ 23 และ 73 ตามลำดับโดยมวล

2.4.1. ปฏิกริยาของการเผาไหม้

เนื่องจากเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และปริมาณธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่บ้าง เช่น กำมะถัน เมื่อนำไปเผาจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงด้วยสมการต่อไปนี้



2.4.2. ตัวแปรที่มีผลต่อการเผาไหม้

ขบวนการเผาไหม้ที่ดีควรมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณออกซิเจนตามปริมาณข้างต้น ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical Air) คือ ปริมาณน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ จนคาร์บอน ไฮโดรเจน และ กำมะถัน เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติ อากาศที่ต้องการในทางทฤษฎีนั้น ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ ปรากฏการณ์ที่เห็นชัดของการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนไนโอไซด์ที่ออกมา เพื่อแก้ปัญหานี้จึงต้องใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เกินพอสำหรับการสันดาปที่สมบูรณ์

$$\text{Excess Air, decimal} = \frac{21}{(21\text{O}_2 + 0.5\text{CO})} \quad (1)$$

2.4.3. การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

การรวมตัวที่ดีระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน คือ การที่อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมกันนั้นจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือเหลว การผสมกันนั้นก็ยากขึ้น ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ก็จะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็กๆ ก่อนแล้วจึงทำการเผาไหม้ จะทำให้รวมตัวกันได้ง่ายกับอากาศและเกิดการลุกไหม้ที่ดี เหมือนเชื้อเพลิงเป็นก๊าซ ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าไปผสมกับคาร์บอนทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ คือ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ฉะนั้น ขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งจะประกอบด้วยพฤติกรรมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการณ์เผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง

1. เริ่มต้นด้วยออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงแข็ง
2. มีการทำปฏิกิริยากันระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน
3. มีการปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ออกมาจากผิวเชื้อเพลิง
4. เกิดสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ปกคลุมผิวนอกสุดของเชื้อเพลิงแข็ง

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า อัตราการเผาไหม้นั้นขึ้นอยู่กับสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว และสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดได้ โดยการบดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นผงหรือเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้มากขึ้น

2.4.4. การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง

การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเผาไหม้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในตอนเริ่มต้น และจะเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะไปเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้สูงขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบนี้จะเกิดขึ้นได้เองต้องมี บริเวณที่จำกัดสำหรับสะสมความร้อน สารเชื้อเพลิง และอากาศ

การลุกไหม้ไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง ส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และทำให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่อง คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลวหรือก๊าซซึ่งทราบส่วนประกอบสามารถนำมาชี้สถานะการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ แต่เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมักจะมีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอน จึงทำให้เกิดปัญหาดังนี้ คือ

- เป็นการยากที่จะหาค่าต่ำสุด สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้และอัตราการ เกิดปฏิกิริยาทั้งหมด

- การเผาไหม้ไม่ได้เกิดเป็นแบบผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะมีพื้นผิวของเชื้อเพลิงในการสัมผัสกับอากาศจำกัด คือ จะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวของเชื้อเพลิงเข้าไปเรื่อย ๆ ฉะนั้น แม้ว่าจะให้ออกซิเจนมากเกินพอ ปริมาณออกซิเจนก็จะสามารถเกิดปฏิกิริยา เฉพาะที่ผิวของเชื้อเพลิงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัญหาทั้ง 2 ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น จะเห็นว่า การออกแบบระบบของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้นควรคำนึงถึงเหตุผลต่าง ๆ ดังนี้

- ควรจะให้ผิวสัมผัสสำหรับปฏิกิริยามากที่สุด สามารถทำได้โดยบดเชื้อเพลิงให้เป็นอนุภาคที่เล็ก และมีการทำให้ก๊าซในเตาเกิดการเคลื่อนที่อย่างรุนแรงเพื่อที่จะกวาดให้ผิวของเชื้อเพลิงแข็งนั้นปราศจากสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาหรือเถ้า เช่น เทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน
- อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วที่ผิวของเชื้อเพลิงสัมผัสหรือเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างเพียงพอเพื่อให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมด
- ระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิการเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะทำให้เผาไหม้ที่ต่อเนื่องกัน

จากเหตุผลทั้ง 3 ข้อนี้ นักวิชาการมักนำมาพิจารณาในรูปของ 3 ตัวดังนี้

- อุณหภูมิ (Temperature) ปกติแล้วในการเผาไหม้ย่อมต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่การที่จะทำให้อุณหภูมิสูงได้มากน้อยแค่ไหนนั้น มีข้อจำกัด คือ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปก็ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และอาจจะทำให้เกิดข้อเสียได้ เช่น ชี้อาจกลายเป็นชีโลหะ (Slag) เกาะติดอยู่ตามผนังที่เป็นเหล็กซึ่งทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการกัดกร่อนได้
- การปั่นป่วน (Turbulence) จุดประสงค์ของการทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นเพื่อที่จะทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างอากาศและพื้นผิวของเชื้อเพลิง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและทำให้บริเวณของพื้นที่ผิวจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นใหม่
- เวลา (Time) เมื่อมีอุณหภูมิและการปั่นป่วนที่เหมาะสมแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกอย่างก็คือเวลาที่ใส่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรแน่ใจว่าทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ได้มากที่สุด แต่การที่ต้องการให้ผลสมบูรณ์ คือ เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้จนหมดนั้นย่อมเป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลานานมากและทำให้ค่าใช้จ่ายสูงมากด้วย

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1. งานวิจัยในประเทศ

- วัชรระ เพิ่มชาติ [5] ได้ศึกษาทำการวิจัยเกี่ยวกับการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่ทำ

ด้วยเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 3 เมตร และหุ้มด้วยฉนวนเซรามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟเบอร์ หนา 5 มิลลิเมตร ใช้ทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.3 – 0.5 มิลลิเมตร เป็นเบดในการเผาไหม้ ความสูงของเบด 30 เซนติเมตร ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 58 – 81 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการทดลองได้ทำการศึกษาดังผลของความชื้นในเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเผาไหม้ภายในเตาโดยทำการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในเตาตลอดความสูงของเตา ผลการศึกษาพบว่าทั้งความชื้นและปริมาณอากาศส่วนเกินมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยที่จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมความชื้นและปริมาณอากาศส่วนเกินให้เหมาะสม จะทำให้ประสิทธิภาพของเตามีค่าสูงกว่า 95 %

- เสรีย์ ผู้ประภาษ [16] ได้ทำการศึกษาและออกแบบเตาเผาจากตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้สมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณออกแบบเป็นเตาเผาขนาดเล็กที่มีอุปกรณ์ต่าง ๆ ใกล้เคียงกับที่ใช้กันในระบบใหญ่ และยังสามารถได้ออกแบบไว้รองรับการต่อเติมหรือดัดแปลงเพื่อให้สามารถขยายขอบเขตในการศึกษาวิจัยด้านอื่น ๆ ได้ สำหรับงานนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และประสิทธิภาพการทำลายกากตะกอนในเตาเผาที่สร้างขึ้นโดยเตาเผาที่สร้างขึ้นมีรูปทรงกระบอก หล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ (Cast-13) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.6 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.2 เมตรที่ส่วนเผาไหม้ (Combustion Zone) c) และ 0.4 เมตรที่ส่วนขยายด้านบน (Freeboard) ระบบเตาเผาที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ระบบป้อนอากาศ ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรู ระบบวัดความดัน ระบบวัดอุณหภูมิ โซ โกลน ระบบอุ่นเบด ระบบกระจายลมแบบแผ่นเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร 30 รู ต่อตารางเซนติเมตร จากการศึกษาการเผาไหม้ของเตาเผาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและความดันมาตรฐาน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ อัตราการป้อนก๊าซ LPG 4.35 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณอากาศสำหรับฟลูอิดไดซ์ที่ 32 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และอากาศผสมกับก๊าซ LPG ในหัวเผา (Primary Air) ที่ 7.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากการศึกษาอัตราการป้อนกากตะกอนที่มีปริมาณ 10, 15, 20, 25, และ 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 95.62 % ที่อัตราการป้อนกากตะกอน 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำลายกากตะกอนสูงสุด 95.39 % ที่อัตราการป้อนกากตะกอน 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

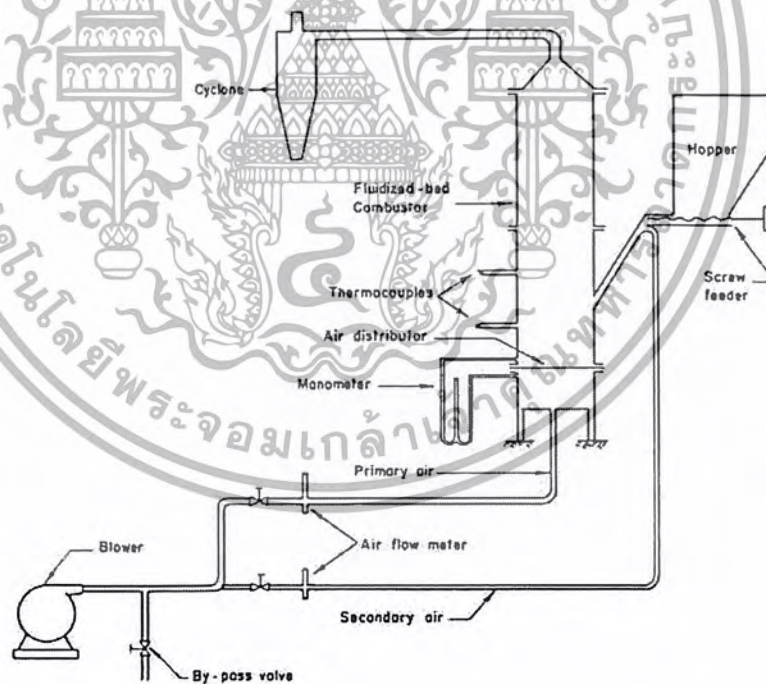
2.5.2. งานวิจัยต่างประเทศ

- Liu et al. [3] ได้ทำการศึกษาลักษณะต่าง ๆ ของแกลบ ได้แก่คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี การไหล (Fluidization) เศษเหลือ (Slagging) การรวมกันเป็นก้อน (Agglomeration) และการลำเลียงด้วยลม (Pneumatic Transportation) ปฏิกริยาทางเคมีของแกลบมีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับถ่าน โดยที่อยู่บนเกณฑ์การทดลองของ Thermogravimetric การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำโดยทำให้เกิดการเร่งการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าและศึกษาถึง โครงสร้างของแกลบในระดับ Microscopic และได้นำมาเปรียบเทียบกับถ่าน การทดลองการเผาไหม้ได้กระทำในเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีขนาดพื้นที่ตัด 0.2 เมตร สูง 0.2 เมตร แนวคิดของการเผาไหม้แบบ 2 ชั้นมีจุดประสงค์เพื่อ ไล่สารระเหยออกจากเชื้อเพลิงและเผาไหม้คาร์บอนที่ได้ออกมาโดยมีความแตกต่างจากถ่าน สอดคล้อง กับลักษณะการเผาไหม้ของแกลบจึงได้มีการออกแบบ Boiler ขึ้นมาใหม่โดยมีการใช้ลักษณะของ ฟลูอิด ไคซ์เบดเป็นหลักและกำลังจะได้รับการจดสิทธิบัตร

- Yokoyama et al. [4] ได้ทำการศึกษาและประมาณศักยภาพของพลังงานชีวมวลที่ครอบคลุมถึงชีวมวลและชีวมวลจากป่าไม้ในประเทศไทย ซึ่งได้ถูกนำมารวมเข้าในบัญชีรายงานจำนวนของ พลังงานทางชีวมวลที่มีความพร้อมและเป็นไปได้ในการนำมาทำให้เป็นพลังงานวิ่งมีความสอดคล้อง กับแผนงานของรัฐบาลไทย ตามที่ได้ประมาณเอาไว้ พลังงานจำนวน 65 PJ สามารถได้รับจากของ เหลือทิ้งทางการเกษตรและป่าไม้ และสามารถผลิตพลังงานถึง 770 PJ ได้ ถ้าได้จัดสรรพื้นที่ครึ่งหนึ่ง ของพื้นที่ทำการเพาะปลูกและป่าไม้ในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทุกวันนี้พลังงานชีวมวล 810 PJ โดยคิดเป็น 30 % ของพลังงานทั้งหมด



รูปที่ 2.15 โคอะแกรมของเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบด[8]

- Bhattachaya et al. [9] ได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบของการนำชีวมวลไปใช้ โดยได้พบว่า

ในของเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เช่น ในของเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

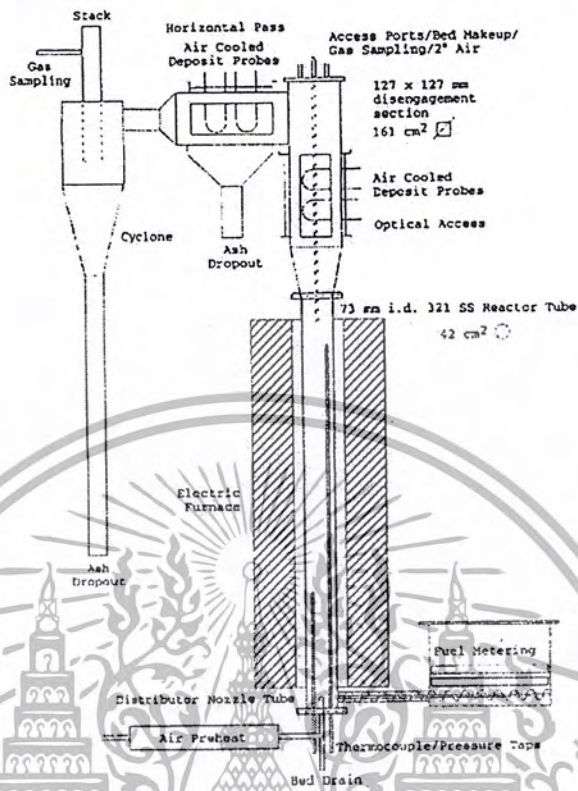
เช่น แกลบ และ ชานอ้อย เป็นต้น มักจะถูกนำไปใช้ในรูปของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะลักษณะของแกลบมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเผาไหม้แบบ ฟลูอิดไดซ์เบด แต่โดยวิธีปกติมักจะทำการเผาไหม้โดยใช้เตาเผาแบบ Grate – Type ซึ่งเป็นการเผาที่ช้าและให้ประสิทธิภาพต่ำ และทีมงานได้มีความมั่นใจถึงรูปแบบของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดสำหรับแกลบ ซึ่งทำการป้อนแกลบเข้าไปในทรายที่ใช้เป็นเบด โดยความสูงเบดเท่ากับ 10 เซนติเมตร ขนาดของเบดเท่ากับ 351 – 420 ไมโครเมตร ความเร็วของลมอยู่ในช่วง 11.1 – 22.2 เมตรต่อวินาที ความเข้มข้นของการเผาไหม้อยู่ที่ 530 kg / h / m² ของพื้นที่หัวกระจายลมโดยมากกว่า 7.5 เท่า ของค่าสูงสุดในการเผาไหม้ของ Grate Type ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ในช่วง 81 – 98 % โดยสามารถเพิ่มได้จากการเพิ่มปริมาณการไหลของอากาศ และการเพิ่มความหนาแน่นในการเผาไหม้สามารถเพิ่มได้จากการเพิ่มเบด จาก 10 เป็น 15 เซนติเมตร

- Robert et al. [13] การชะล้างของธาตุองค์ประกอบจากชีวมวล ซึ่งเป็นกระบวนการที่หลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของ Slag ของขี้เถ้า, ตะกอน และการรวมตัวกันเป็นก้อนของเบดที่เกิดจากเศษฟางชิ้นเล็ก ๆ การชะล้างเกิดขึ้นในธรรมชาติเมื่อมีการตกของฝน รวมไปถึงมันสามารถที่จะเป็นผลิตภัณฑ์ โดยอยู่ภายใต้การควบคุมของสภาพแวดล้อมของภายในโรงงานอุตสาหกรรม ธาตุที่เป็นส่วนประกอบ รวมไปถึงปริมาณขี้เถ้าที่หลอม ได้นั้นแสดงถึง การชะล้างช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของฟางข้าวแล้วยังรวมไปถึงเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น ๆ อีกด้วย ค่าของการเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศในการเผาไหม้แบบ Fluidized Bed เป็นตัวยืนยันให้เห็นถึงค่าของการเพิ่มตัวของการเกาะรวมตัวกันที่เพิ่มขึ้นของเบด ซึ่งจะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของฟางข้าว ซึ่งผิดกับฟางข้าวที่ถูกการชะล้างโดยธรรมชาติ ซึ่งจะให้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงถึง 900 °C

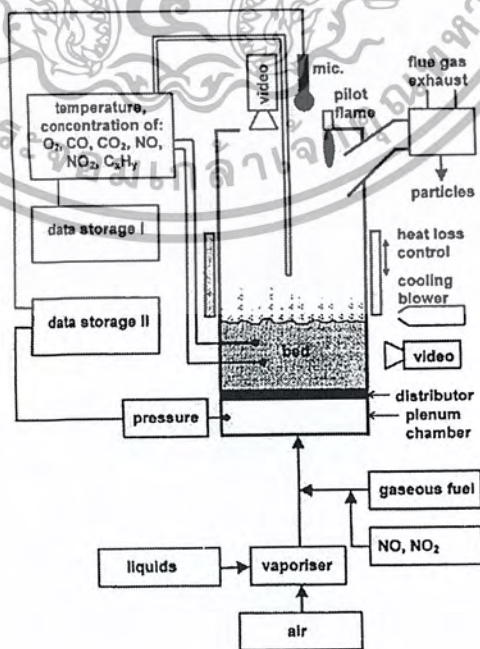
- Baron et al. [14] ขนาดของทรายมีผลต่อการเลือกใช้แก๊สเผาไหม้ , LPG (แก๊สปิโตรเลียมเหลว) และ ไอของ อะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ในการเผาไหม้แบบ Bubbling Fluidized Bed ส่วนมากค่าที่ได้จากการวัดและการสังเกต จะ ได้จากการศึกษาถึงการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงและอากาศยังรวมไปถึงทรายที่ใช้นามมาเป็นเบดอีกด้วย แต่ในการทดลองจะพบว่าค่าของ NO , NO₂ รวมถึง CCl₄ จะเป็นตัวบ่งบอกถึงเชื้อเพลิงที่ใช้ และค่า Stoichiometry ก็จะไม่แปรผันตามวัสดุที่นำมาใช้เป็นเบด ค่าที่อ่านได้จาก Momitor จะมีอุณหภูมิของเบดอยู่ 2 ระดับ และยังรวมถึงค่า O₂ , CO₂ , CO , NO , NO₂ ค่าของอุณหภูมิจะสามารถวัดได้โดยการสังเกตดูจากระดับของเสียง และผลสรุปที่ได้คือค่าคงที่ของ Excess Air จะได้เท่ากับ 1.4 และอุณหภูมิของเบดจะเพิ่มได้สูงกว่า 850 °C และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเผาไหม้ได้หมดจด และยังมีค่า CO ที่ต่ำมาก ๆ รวมถึงค่า NO ก็จะมีน้อยตามไปด้วย และค่าต่าง ๆ เหล่านี้ก็จะไม่เพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิยังคงอยู่ในช่วง เพิ่มขึ้น หรือลดลงจาก 850 °C ในช่วง 150 – 200 °C อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการเผาไหม้สามารถเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเข้าไปร่วมกับวัสดุที่ใช้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบด ซึ่งจะมีอากาศทำให้ค่าของ CO และ NO ต่ำลงได้อีก รวมถึงค่า Freeboard จะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1 ppm และที่อุณหภูมิค่า CO จะสูงขึ้นส่วนค่าของ NO จะเปลี่ยนเป็นค่า NO₂ เข้ามาแทนที่



รูปที่ 2.16 ลักษณะเตาเผาฟลูอิด ไบรด์แบบภายใต้บรรยากาศ [13]



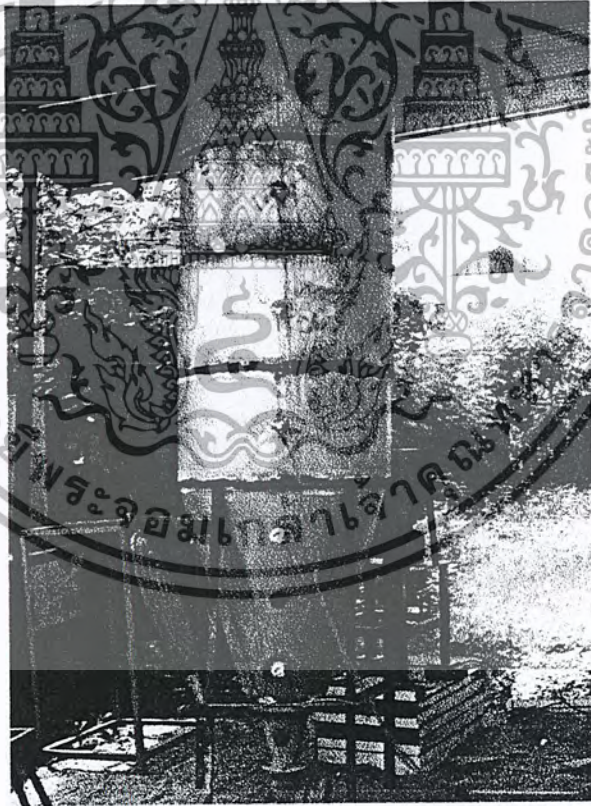
รูปที่ 2.17 ใอะแกรมการจััดเตรียมการทดลองของ Baron [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การจัดเตรียมตัวเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด

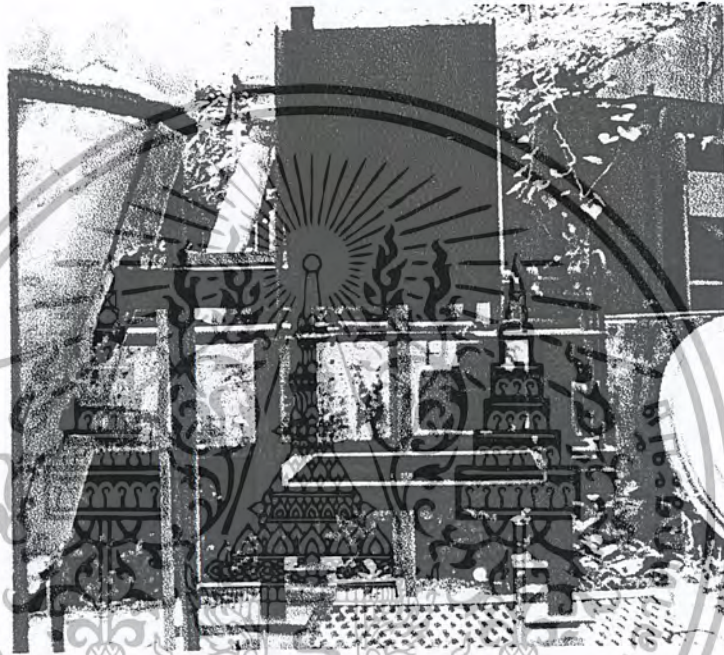
ตัวเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดนี้ สร้างขึ้นโดยนักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปี 2543 และได้เริ่มใช้ในการทดลองเผาซีลี้อยโดยนักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปี 2544 และพบว่า เกิดปัญหาขึ้น เนื่องจากตัวเตาเผาเริ่มแรกไม่ได้มีการหุ้มฉนวน จึงทำให้ในขณะที่ทำการทดลองจะมีการสูญเสียความร้อนที่ตัวเตาเผา และยังเป็นปัญหาในขณะที่ทำการเก็บข้อมูล เนื่องจากบริเวณตัวเตาเผามีอุณหภูมิสูงมาก จึงได้มีการหุ้มฉนวนโดยใช้ฉนวนเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) ซึ่งมีความหนาในการหุ้ม 5 เซนติเมตร โดยได้แบ่งการหุ้มออกเป็น 2 ส่วน คือ ที่บริเวณตัวเตาเผา และที่บริเวณไซโคลน ดังรูปที่ 3.1 ที่แสดงตัวเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ได้ทำการหุ้มฉนวนแล้ว



รูปที่ 3.1 รูปถ่ายจริงแสดงตัวเตาที่ได้ทำการหุ้มฉนวนแล้ว

โดยต่อมาได้ใช้ในการทดลองเผาแกลบและขาน้อย โดยนักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปี 2545 ซึ่งได้พบปัญหาเกี่ยวกับกับตัวป้อนเชื้อเพลิง (Screw Feeder) คือ แกนเพลลาของตัวป้อนเชื้อเพลิงได้เกิดการเอียงเอวขึ้นเป็นเอกลีลาที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานเพื่อการศึกษาดังกล่าวนี้ เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้งงอขึ้น และระยะระหว่างใบเกลียวกับท่อลำเลียง (Clearance) มีระยะที่แคบเกินไป ทำให้มีปัญหาในการลำเลียงเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นเส้นใยหยาบ ซึ่งในการทดลอง คือ ชานอ้อย (Bagasse) จึงได้ทำการแก้ไขปรับปรุงขึ้นมาใหม่โดยเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและใบเกลียวให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและลดขนาดของแกนเพลลาให้เล็กลง ทำให้ระยะกวาดของใบเกลียวมากขึ้น อีกทั้งยังปรับปรุงขนาดของตัวป้อนเชื้อเพลิงให้มีขนาดและน้ำหนักลดลง ซึ่งทำให้สะดวกในการทำการทดลองและเคลื่อนย้ายดังแสดงในรูปที่ 3.2

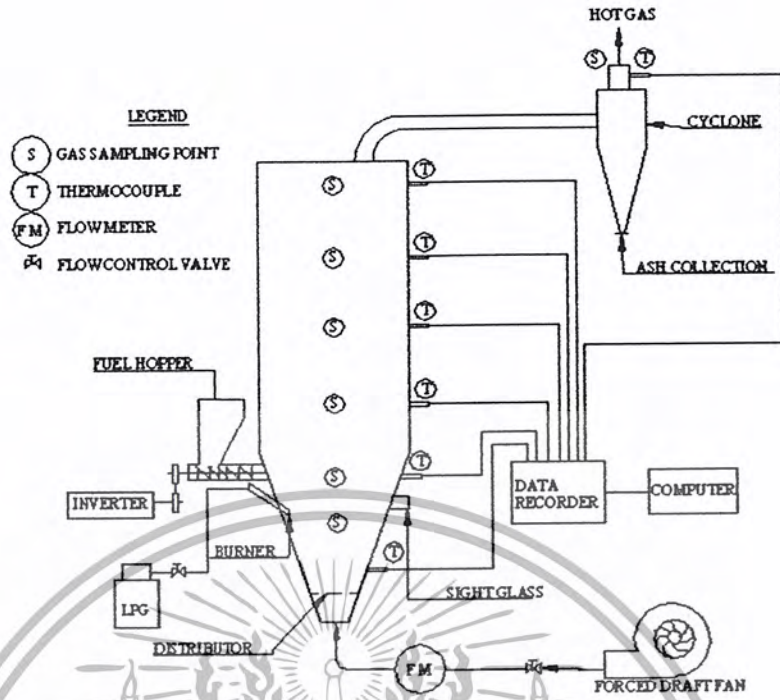


รูปที่ 3.2 รูปถ่ายจริงแสดงตัวป้อนเชื้อเพลิงที่ปรับปรุงใหม่

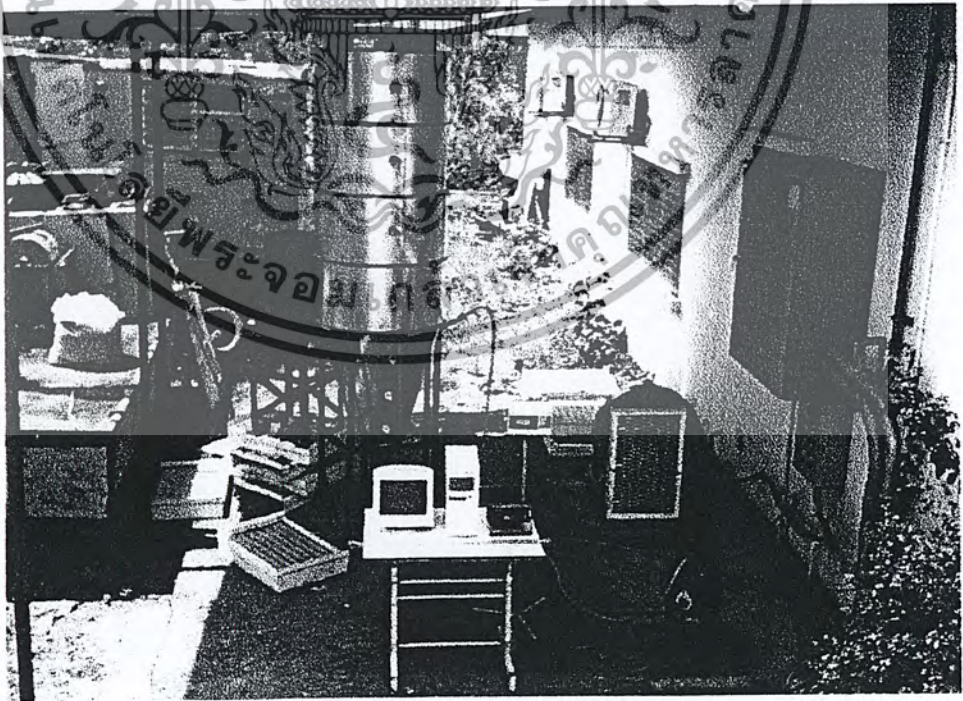
ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัดต่างๆ ยังคงใช้รูปแบบเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองของนักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปี 2544 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนี้

- ตัววัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K วัดอุณหภูมิได้ถึง 1000 องศาเซลเซียส
- เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Flue gas analyzer) ยี่ห้อ TESTO-350 โดยใช้การวัดแบบ Dry Basis
- ระบบป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้ (Combustion Air) ใช้พัดลมแรงดันสูงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 28 นิ้ว และสร้างแรงดันได้ 40 นิ้วน้ำ
- ระบบอุ่นเบด ใช้หัวเผา LPG ที่สามารถปรับแรงดันของก๊าซ LPG ได้
- ระบบป้อนเชื้อเพลิง ใช้เกลียวลำเลียงที่ปรับปรุงใบเกลียวใหม่ ให้มีระยะพิทช์สูงขึ้นไปจาก 7.5 มิลลิเมตร เป็น 20 มิลลิเมตร สามารถลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาได้มากขึ้น 100 %
- เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ใช้ Data Acquisition “FLUKE” แบบ 19 channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงการ Set-Up การทดลอง

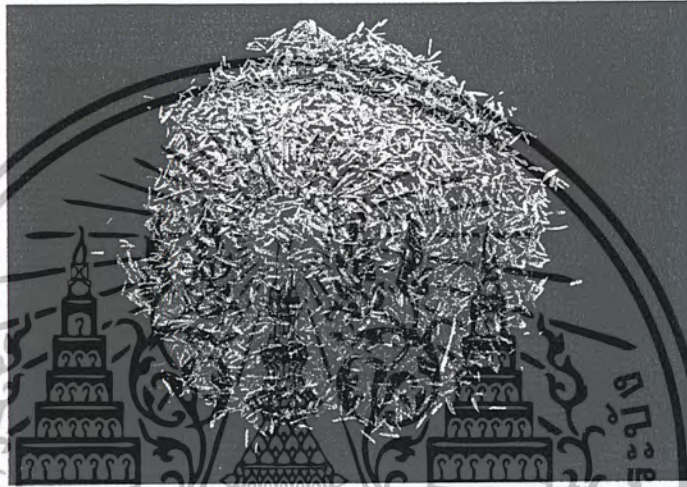


รูปที่ 3.4 รูปถ่ายจริงแสดงการ Set-Up การทดลอง

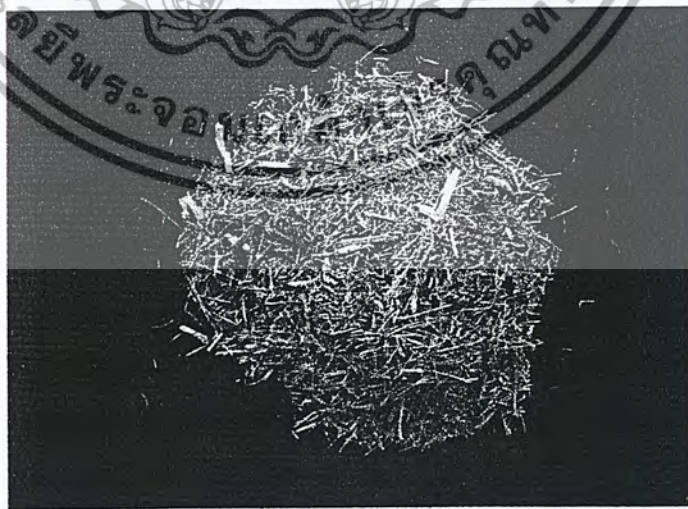
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจัดเตรียมเชื้อเพลิงแกลบและขานอ้อยสำหรับการทดลอง

ในขั้นแรกของการศึกษาในครั้งนี้ จะใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งมีขั้นตอนการจัดเตรียมดังนี้ คือ แกลบที่ใช้จะนำมาจากโรงสีรุ่งวัฒนา เขตลาดกระบัง ซึ่งแกลบที่ได้จะได้มาจากกระบวนการสีข้าว และสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อนที่จะนำมาใช้ เพราะแกลบถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความชื้นต่ำ



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างแกลบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างขานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวมวลอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง คือ ชานอ้อย ซึ่งมีขั้นตอนการจัดเตรียมชานอ้อยก่อนจะนำมาใช้ คือ ชานอ้อยที่ไ้จะนำมาจากโรงน้ำตาล นิวกว้างชุมชนลี อำเภอนันทนิคม จังหวัดชลบุรี ซึ่งชานอ้อยที่ได้มาใหม่จะเป็นชานอ้อยที่มีความชื้นสูง (ประมาณ 50% มาตรฐานเปียก) ดังนั้นก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง จึงต้องทำการลดความชื้นโดยการนำไปตากแดดประมาณ 3-5 วัน ให้ความชื้นลดลงก่อนที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ เนื่องจากถ้าชานอ้อยมีความชื้นมากเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาในการอุ่นเบคให้ร้อนและจุดติดไฟยาก รวมถึงจะมีปัญหาในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าเตาและความไม่มีเสถียรภาพของเตาเผาขณะทำการเผาไหม้อีกด้วย ชานอ้อยที่ลดความชื้นแล้วจะมีค่าความชื้นประมาณ 14 % มาตรฐานเปียก รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง ในขณะที่รูปที่ 3.7 แสดงภาพเปรียบเทียบชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ ชี้อ้อย และชานอ้อย



รูปที่ 3.7 ภาพเปรียบเทียบเชื้อเพลิง ชี้อ้อย แกลบ และชานอ้อย

3.3 วิธีการทดลอง

- ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ และตรวจสอบสภาพความพร้อมในของเตาเผา ดังรูปที่ 3.4

- ในการทดลอง มีตัวแปรที่จะทำการศึกษา 3 ตัวแปร คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศส่วนเกิน และความชื้นของชานอ้อย ส่วนความสูงเบคนั้น ไม่ถูกใช้เป็นตัวแปรที่จะทำการศึกษา เพราะจากผลการศึกษานักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปี 2544 ได้สรุปผลไว้ว่า ที่ระดับความสูงเบคต่างกันจะให้ผลการทดลองที่มีค่าใกล้เคียงกัน

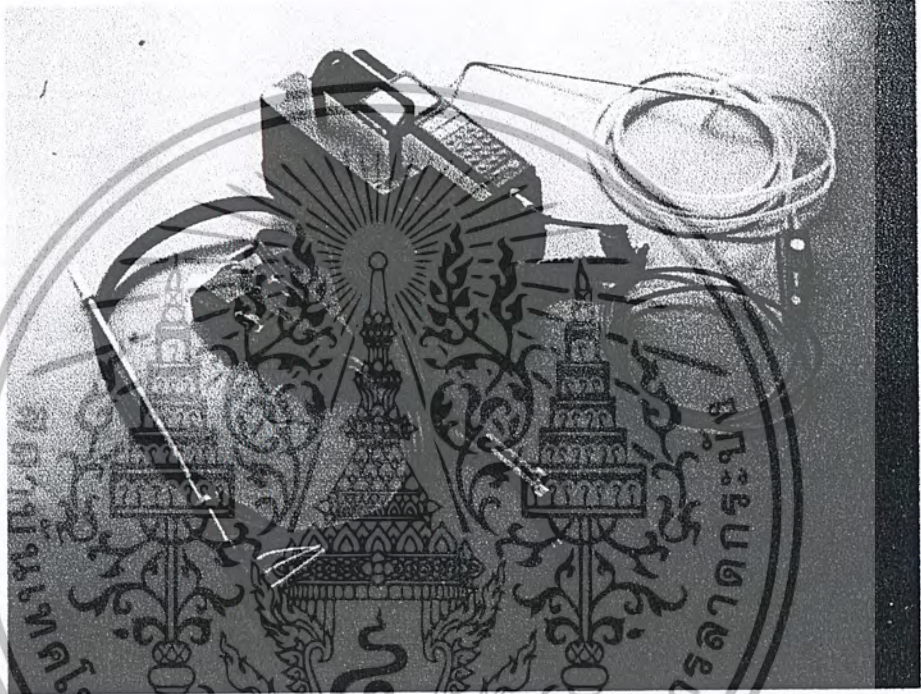
- ทำการวัดค่า CO , CO_2 , O_2 และ NO_x โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 3.8 วัดที่ปล่องปล่อยไอเสีย (Stack) และจุดต่างๆ ตลอดความสูงตัวเตาเผา โดยการวัดจะนำ Probe ยื่นเข้าไปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตเห็นชอบจากหน่วยงานต้นสังกัด หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดกึ่งกลางภายในเตา อ่านและบันทึกค่าที่ได้ตลอด 5 นาทีต่อ 1 จุด

- การเปลี่ยนตัวแปรครั้งแรก จะเริ่มที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) โดยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้ปริมาณอากาศส่วนเกินอยู่ในช่วง 10-120 % และทำการวัดค่าแต่ละจุดเหมือนกัน

- การเปลี่ยนตัวแปรครั้งที่ 2 จะเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิง โดยปรับให้อยู่ในช่วง 35-90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แล้วทำการทดลองซ้ำ



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

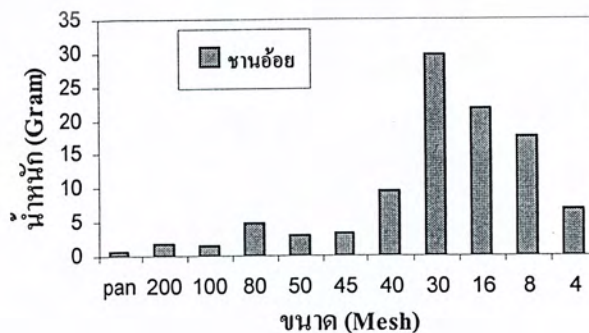
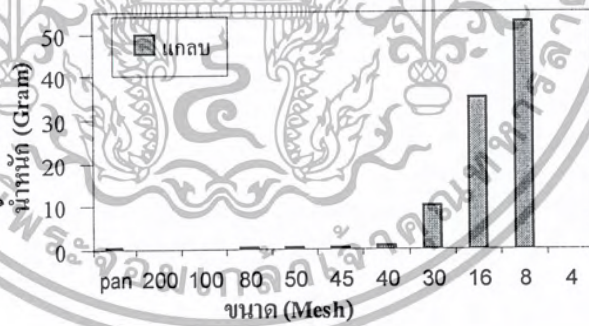
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1. องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและชานอ้อย

ในการศึกษานี้จะนำแกลบและชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดลองซึ่งแกลบและชานอ้อยมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมี	Rice husk	Bagasse
C	37.9	41.1
H	4.82	6.44
O	34.9	49.9
N	0.43	0.25
S	0.17	0.16
Ash	21.78	2.15
LHV (MJ/kg)	12.32	12.60
HHV (MJ/kg)	13.56	14.21



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดของชานอ้อย และแกลบที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญคือตัวเก็บความร้อนในระหว่างทำการทดลอง หรือที่เราเรียกว่า “เบด” ซึ่งจากการศึกษาทดลองของ นักศึกษาวิศวกรรมเกษตร ปี 2544 ได้พบว่าวัสดุที่มีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ในการนำมาใช้เป็นเบด ซึ่งก็คือ ทราช โดยในทราชจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังตารางที่ 4.2

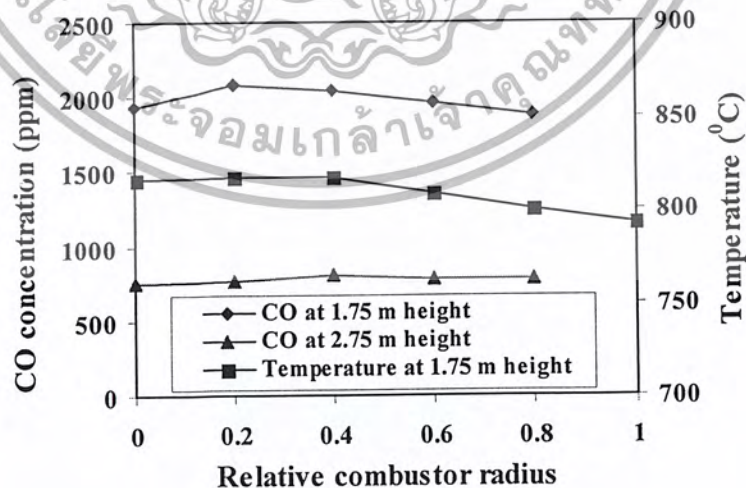
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของทราชที่ใช้เป็นเบดในการทดลอง

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%)
SiO ₂	89.9
Al ₂ O ₃	7.8
Fe ₂ O ₃	1.2
CaO	0.05
MgO	0.05
K ₂ O	0.9
Na ₂ O	0.1

ขนาดของทราชที่ใช้ในการทดลองนั้นอยู่ในช่วงเมช (Mesh) 10–100 ที่ความหนาแน่น 2,520 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.4 มิลลิเมตร

4.2. ลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผา

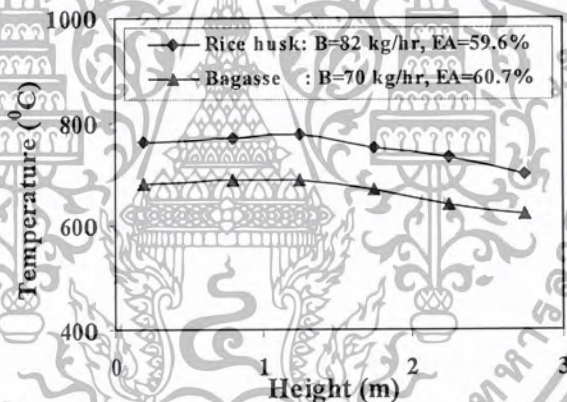
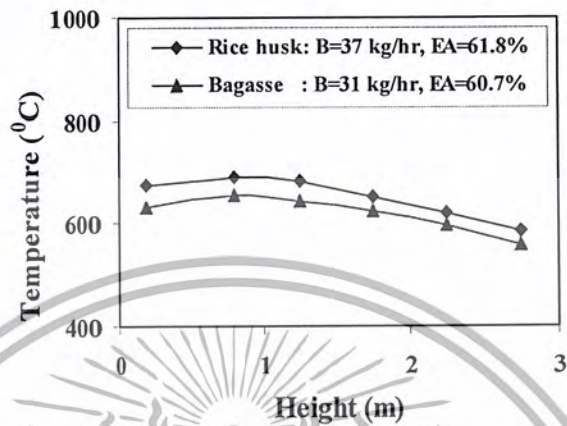
4.2.1. การกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามแนวรัศมีเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 การวัดอุณหภูมิและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามแนวรัศมีเตา ตั้งแต่จุดกึ่งกลางจนถึงผนังเตา พบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดของเตา ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกใช้ค่าที่จุดกึ่งกลางเตาเป็นตัวแทนการวัดค่าตลอดการทดลอง



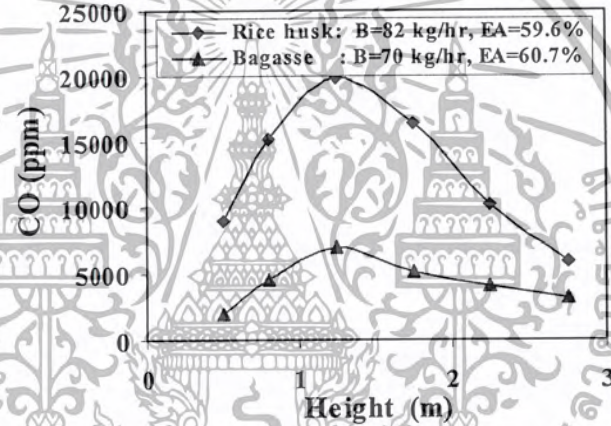
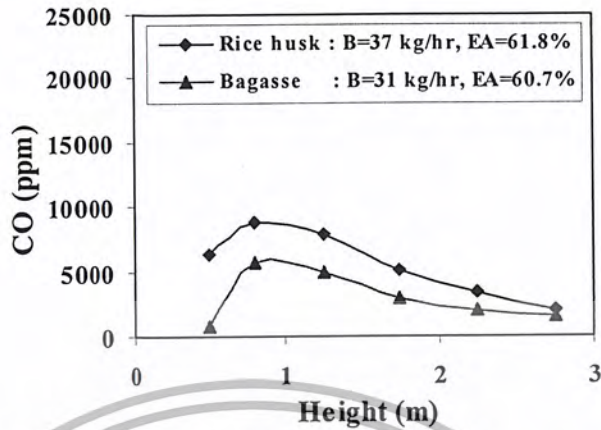
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิตามความสูงของเตาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ

จากรูปจะเห็นว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความสูงของเตาของแต่ละอัตราการป้อน เชื้อเพลิงนั้นจะมีค่ามากที่บริเวณความสูงต่ำ ๆ และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น แต่จะสังเกตเห็นว่าจะมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่จุด ๆ หนึ่ง ซึ่งจุดนี้ก็คือบริเวณที่เกิดการเผาไหม้นั่นเอง ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างกันจุดที่อุณหภูมิสูงสุดจะ ไม่อยู่ที่จุดเดียวกัน ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เพราะที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างกันแต่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากันนั้น ความเร็วของอากาศที่ถูกเป่าเข้ามาทางด้านล่างจะสูงขึ้นซึ่งก็จะพัดพาทรายที่ใช้เป็นเบดให้ลอยตัวสูงขึ้นด้วยจึงทำให้บริเวณที่เกิดการเผาไหม้อยู่สูงขึ้น

ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

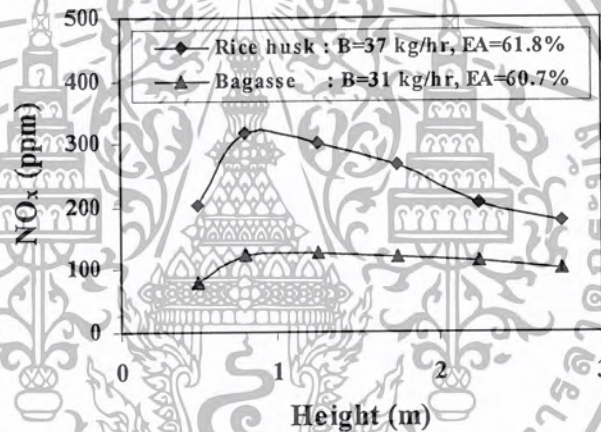
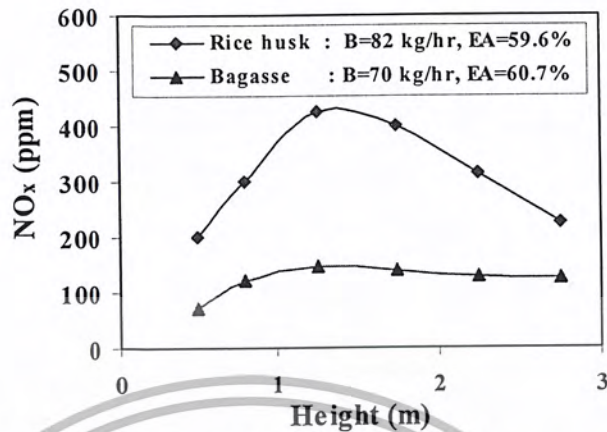


รูปที่ 4.4 ปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างกัน และที่ความสูงต่างกัน

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ต่างกันมีผลต่อการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด รวมถึงปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ระหว่างเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้ก็จะมีความที่ต่างกันมาก เพราะว่าปริมาณเชื้อเพลิงของแกลบมีปริมาณมากกว่าของขี้เลื่อยมาก และจากกราฟจะพบว่ามีตำแหน่งหนึ่งที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุดซึ่งก็คือตำแหน่งที่เกิดการเผาไหม้นั่นเอง จะสังเกตเห็นว่าที่ตำแหน่งที่สูงขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะลดลง ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเพราะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่เสถียรจึงเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนที่เหลืออยู่ (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน



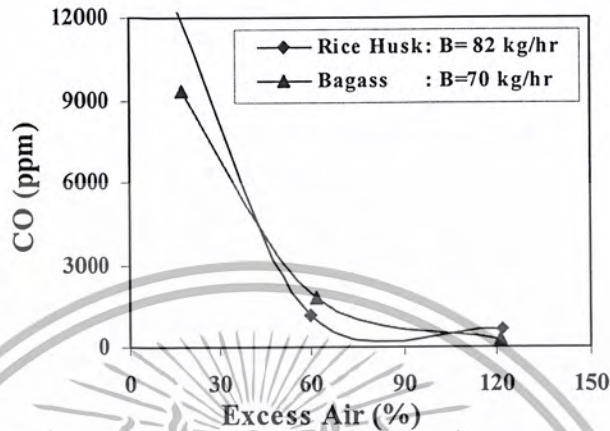
รูปที่ 4.5 การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง และความสูงเตาต่างกัน

จากกราฟจะพบว่าปริมาณของก๊าซ NO_x ของแกลบจะมีปริมาณที่มากกว่าของชานอ้อยเนื่องจากแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีที่มี ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมากกว่าของชี่เลี้ยงถึง 2 เท่า และจากกราฟจะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างกราฟที่มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงและกราฟที่มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำจะมีข้อแตกต่างกันตรงที่จะมีตำแหน่งของการเกิดก๊าซ NO_x สูงสุดอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน โดยที่กราฟอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงจะอยู่ในบริเวณจุดที่ทำการวัดตัวล่างสุดของตัวเตาที่เป็นทรงกระบอก ส่วนกราฟที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำจะมีตำแหน่งที่มีอัตราการเกิดก๊าซ NO_x สูงสุดจะอยู่ในตำแหน่งสูงสุดของชั้นส่วนของเตาที่เป็นทรงกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้

4.2.1. ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อมลพิษที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น

จากกราฟรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อปริมาณของมลพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นมลพิษที่เกิดขึ้นก็จะลดลงดังกราฟ และแนวโน้มของกราฟคือเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นค่ามลพิษที่เกิดขึ้นก็จะลดต่ำลง แต่จากกราฟของเกลบจะเห็นว่าในช่วงปริมาณอากาศ 60 - 120 % ค่ามลพิษที่เกิดขึ้นจะลดต่ำลงแล้วพุ่งสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เนื่องมาจากความผิดพลาดในการตรวจวัด

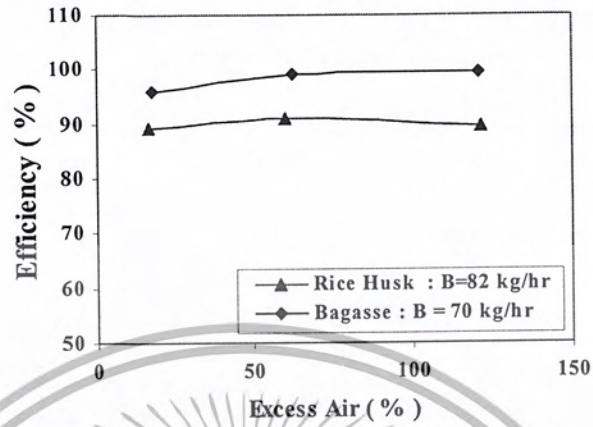
4.3.2 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา

เชื้อเพลิง	ปริมาณอากาศส่วนเกิน	Unburned Carbon	Incomplete Combustion
เกลบ	16.8	6.47	4.39
	60.0	8.52	0.55
	121.9	9.97	0.44
ชานอ้อย	17.9	0.02	4.06
	62.1	0.02	0.95
	121.1	0.06	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา



รูปที่ 4.7 ปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

จากกราฟรูปที่ 4.7 จะพบว่า ณ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากัน ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชานอ้อยจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าของเชื้อเพลิงแกลบ และถ้าเปรียบเทียบที่กราฟเส้นเดียวกันของทั้งเชื้อเพลิงแกลบและชานอ้อย จะพบว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60 % จะมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่ได้ทำการทดลองจะพบว่ามีการเผาไหม้แกลบและชานอ้อยได้อย่างต่อเนื่องโดยที่อุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่งที่อุณหภูมิภายในเตาและปริมาณไอเสียที่ปล่อยออกจากเตาจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลง ซึ่งสภาวะนี้จะเป็นสภาวะเราได้เลือกทำการศึกษาและเก็บข้อมูลซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

- การกระจายตัวของอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตา สามารถพิจารณาให้เป็นแบบทิศทางเดียว (One Dimension) คือ มีการเปลี่ยนแปลงตามความสูงของเตา โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดหน้าตัดเตาตามแนวรัศมีในปริมาณที่น้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย

- อุณหภูมิการเผาไหม้ตลอดช่วงความสูงของเตา จะมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากเพราะในเตาจะมีเบดเป็นตัวรักษาระดับของอุณหภูมิภายในเตาให้มีความสม่ำเสมอตลอดช่วงความสูงของเตา

- เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบและชานอ้อยได้อย่างหมดจดและเหลือปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้าที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับเตาเผาแบบปกติ ทำให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงมากยิ่งขึ้น

- ปริมาณไอเสียที่ปล่อยออกจากเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบด อาทิเช่น CO , NO_x , SO_2 เป็นต้น เราพบว่าปริมาณก๊าซมลพิษเหล่านี้สามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต่ำได้ โดยเหตุผลนี้แล้ว ผลพลอยได้จากการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นหนทางหนึ่งในการวางแผนที่จะลดปัญหาทางด้านมลพิษ

- สิ่งที่มีอิทธิพลสูงต่อประสิทธิภาพของการเผาไหม้ก็คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 ประการนี้ ในการทดลองจะต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ปริมาณอากาศส่วนเกินจะต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งผลจากการควบคุมปัจจัยทั้ง 2 ประการนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- ในการศึกษาครั้งนี้ เราได้ทำการพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่เนื่องจากในความเป็นจริงจะมีการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตาด้วย ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพโดยรวม (Overall Efficiency) ด้วย เพื่อที่จะทำให้เราสามารถทราบถึงปริมาณความร้อนที่จะนำไปใช้งานได้จริงๆ ว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามในสหกรณ์การเกษตรเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทั้งแกลบและขานอ้อยเป็นเพียงเชื้อเพลิงชีวมวลที่เราได้เลือกนำมาศึกษา แต่ในความเป็นจริงแล้วในประเทศไทยของเรายังมีเชื้อเพลิงชีวมวลอีกหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นกากถั่วเหลือง ชังข้าวโพด ฟางข้าว เป็นต้นดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น ๆ ด้วย

- จากการศึกษาพบว่าถ้าหากความชื้นของขานอ้อยมากเกินไปจะทำให้เตาดับไม่สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นถ้าหากมีการนำเชื้อเพลิงต่างชนิดกันมาผสมกันแล้วจะช่วยลดความชื้นได้ จึงน่าจะทำการศึกษาต่อไปว่าถ้านำเชื้อเพลิงที่ผสมกันดังกล่าวไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเตาจะสามารถใช้งานได้ อย่างต่อเนื่องหรือไม่

- กระบวนการทางความร้อนอีกแบบหนึ่ง ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการ Combustion ซึ่งก็คือกระบวนการ Gasification ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เปลี่ยนสภาพมาเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปก๊าซได้ การศึกษาโดยการเปลี่ยนจากกระบวนการ Fluidized Bed Combustion ให้กลายเป็นแบบ Fluidized Bed Gasification จึงเป็นสิ่งที่น่าจะได้ทำการศึกษาเช่นเดียวกัน เนื่องจากอุปกรณ์ในการศึกษาเป็นแบบเดียวกัน และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้อีกตัวหนึ่งที่เราควรจะทำการศึกษาเพิ่มเติมก็คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งจากการตรวจสอบเอกสารพบว่าแม้เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีอุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำ เมื่อเทียบกับเตาเผาแบบปกติ แต่มลพิษดังกล่าวก็ยังคงอยู่ในระดับที่สูงพออีก

- จากการศึกษาพบว่าปริมาณของ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากเตายังมีปริมาณที่สูง จึงน่าที่จะทำการศึกษาว่าถ้าหากเราเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นเบด จากทรายที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (Si) มาเป็นทราย Mullite (M-50) ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอลูมินา (Al 50.14%) จะสามารถช่วยลดปริมาณ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากเตาได้หรือไม่

- สมมุติฐานและข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ที่เราได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะสามารถนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเผาไหม้ในเตาเผาแบบนี้ได้ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการศึกษาขั้นตอนต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนากระบวนการ Combustion Boiler



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

C	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนในเชื้อเพลิง (% wt)
H	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
O	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
N	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
S	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง (%wt)
A	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าในเชื้อเพลิง (% wt)
W _r	แทนค่า เปอร์เซ็นต์ของความชื้นในเชื้อเพลิง (% wt)
HHV	แทนค่า Higher Heating Value
LHV	แทนค่า Lower Heating Value
∞	แทนค่า ปริมาณอากาศส่วนเกิน
C _c	แทนค่า ปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ในขี้เถ้า
q ₄	แทนค่า การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิง
q ₃	แทนค่า การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
η	แทนค่า ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง



ภาคผนวก ก

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้

โปรแกรมที่เราใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแกลบ และชานอ้อย นั้นเราจะใช้โปรแกรม MathCAD 2000 มาใช้ในการคำนวณ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

1. การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแกลบ (Rice Husk)

Combustion Efficiency of Rice Husk Combustion

ใส่ค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของแกลบลงไปดังนี้

$$C = 37.9 \quad H = 4.82 \quad O = 34.9 \quad N = 0.43 \quad S = 0.17 \quad A = 21.78 \quad W_r = 10.3 \quad (\text{Dry - Basis})$$

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

$$X = 100$$

$$K = \frac{(100 - W_r)}{100}$$

$$C_r = C.K \quad H_r = H.K \quad O_r = O.K \quad N_r = N.K \quad S_r = S.K \quad A_r = A.K \quad (\text{Mass - As received})$$

$$Y = C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_r$$

$$Y = 100$$

$$HHV = 341C + 1323H + 68.5S - 15.3A - 120(O + N)$$

$$HHV = 1.473957 * 10^4 \quad \text{kJ}$$

$$\text{Kgfuel}$$

$$Q_d = HHV - 226H$$

$$LHV = Q_d.K - 25.1W_r \quad (\text{Mason - Gandhi})$$

$$LHV = 1.198575 * 10^4 \quad \text{kJ}$$

$$\text{Kgfuel}$$

$$\alpha = 2.219$$

$$V_o = [0.0889 (C_r + 0.375S_r)] + (0.265H_r) - (0.0333O_r)$$

$$V_o = 3.130626 \quad \text{m}^3$$

$$\text{kgfuel}$$

$$V_{ro2} = 0.01866 (C_r + 0.375S_r)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรมแรงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{O_2} = 0.79V_o + 0.008N_r$$

$$V_{H_2O} = \frac{(0.0894H_r + 0.01W_r + 0.013V_o)}{0.804} + 0.0161(\alpha - 1)V_o$$

$$V_g = V_{rO_2} + V_{O_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V_o$$

$$V_{dg} = V_g - V_{H_2O}$$

$$V_{dg} = 6.927952 \text{ m}^3$$

Kgfuel

$$C_c = 16$$

$$q_4 = 321 \left(\frac{C_c}{100 - C_c} \right) \cdot Ar \cdot \frac{100}{LHV}$$

$$q_4 = 9.966232 \%$$

$$CO = 678 \text{ ppm}$$

$$q_3 = \frac{126.4 \cdot V_{dg} \cdot CO}{LHV \cdot 10000} (100 - q_4)$$

$$q_3 = 0.445987 \%$$

$$\eta = 100 - q_3 - q_4$$

$$\eta = 89.587781 \%$$

2. การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของขี้เถ้า (Bagasse)

Combustion Efficiency of Bagasse Combustion

ใส่ค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของแกลบลงไปดังนี้

$$C = 41.1 \quad H = 6.44 \quad O = 49.9 \quad N = 0.25 \quad S = 0.16 \quad A = 2.15 \quad W_r = 14.4 \quad (\text{Dry - Basis})$$

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

$$X = 100$$

$$K = \frac{(100 - W_r)}{100}$$

$$100$$

$$C_r = C \cdot K \quad H_r = H \cdot K \quad O_r = O \cdot K \quad N_r = N \cdot K \quad S_r = S \cdot K \quad A_r = A \cdot K \quad (\text{Mass - As received})$$

$$Y = C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_r$$

$$Y = 100$$

$$HHV = 341C + 1323H + 68.5S - 15.3A - 120(O + N)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{HHV} = 1.649528 * 10^4 \text{ kJ} \\ \text{Kgfuel}$$

$$Q_d = \text{HHV} - 226H$$

$$\text{LHV} = Q_d.K - 25.1W_r \quad (\text{Mason} - \text{Gandhi})$$

$$\text{LHV} = 1.251267 * 10^4 \text{ kJ} \\ \text{Kgfuel}$$

$$\alpha = 2.3$$

$$V_o = [0.0889 (C_r + 0.375S_r)] + (0.265H_r) - (0.0333O_r)$$

$$V_o = 3.17067 \text{ m}^3 \\ \text{kgfuel}$$

$$V_{ro2} = 0.01866 (C_r + 0.375S_r)$$

$$V_{oN2} = 0.79V_o + 0.008N_r$$

$$V_{H2O} = \left(\frac{0.0894H_r + 0.01W_r + 0.013V_o}{0.804} \right) + 0.0161 (\alpha - 1)V_o$$

$$V_g = V_{ro2} + V_{oN2} + V_{H2O} + (\alpha - 1)V_o$$

$$V_{dg} = V_g - V_{H2O}$$

$$V_{dg} = 7.28586 \text{ m}^3 \\ \text{Kgfuel}$$

$$C_c = 1.3$$

$$q_4 = 321 \left(\frac{C_c}{100 - C_c} \right) \cdot \text{Ar} \cdot \frac{100}{\text{LHV}}$$

$$q_4 = 0.062186 \%$$

$$CO = 678 \text{ ppm}$$

$$q_3 = \frac{126.4 V_{dg} \cdot CO (100 - q_4)}{\text{LHV} \cdot 10000}$$

$$q_3 = 0.50164 \%$$

$$\eta = 100 - q_3 - q_4$$

$$\eta = 99.436174 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ และปริมาณไอเสียชนิดต่าง ๆ ที่ปล่อยออกจากเตา

สำนักงานเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาแกลบที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 37 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 %, ความชื้น 10.3 %

Test 1.1		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combusor height , m	Stack	346	19.0	2994	12.8	3.5	96
		347	20.4	2846	12.8	3.7	98
		349	20.4	2899	12.9	3.7	100
		347	19.9	2913	12.8	3.6	98
	2.75 m	551		3871	12.2	4.2	114
		553		3954	12.4	4.2	116
		554		3765	12.4	4.4	117
		553		3863	12.3	4.3	116
	2.25 m	598		5238	11.3	5.4	135
		599		5428	11.4	5.5	139
		601		5311	11.5	5.7	142
		599		5326	11.4	5.5	139
	1.75 m	631		8947	10	9.4	155
		632		8862	10.2	9.5	156
		632		9047	10.1	9.6	156
		632		8952	10.1	9.5	156
	1.25 m	661		11245	9.2	10.3	189
		662		12478	9.2	10.4	192
		663		13219	9.3	10.2	195
		662		12314	9.2	10.3	192
	0.80 m	672		18845	6.4	12	211
		674		18963	6.5	12.1	213
		675		19201	6.6	12.2	213
		674		19003	6.5	12.1	212
	0.50 m			21269	2.9	17.7	234
				22879	3.1	17.8	238
				23317	3	17.9	241
		0.0		22488	3.0	17.8	238
	0.20 m	669					
		671					
		672					
		671					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาผลาญที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 37 kg/hr
ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60 %, ความชื้น 10.3 %

Test 1.2		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO2 , %	O2 , %	NOx , ppm
Combustor height , m	Stack	358	62.2	874	12.2	8.1	119
		359	62.2	895	12.3	8.1	121
		359	61.0	899	12.3	8	122
		359	61.8	889	12.3	8.1	120.7
	2.75 m	582		1869	11.2	8.9	174
		584		1923	11.3	9.1	176
		585		2045	11.3	9	178
		584		1946	11.3	9.0	176.0
	2.25 m	618		3228	10.1	10.2	205
		620		3349	10.2	10.3	208
		621		3462	10	10.4	208
		620		3346	10.1	10.3	207.0
	1.75 m	652		5218	9.1	11.3	267
		653		4899	9.2	11.5	266
		655		4937	9.3	11.4	269
		653		5018	9.2	11.4	267.3
	1.25 m	680		7889	7.6	12.2	289
		681		7923	7.8	12.3	292
		681		7764	7.7	12.3	296
		681		7859	7.7	12.3	292.3
	0.80 m	679		8893	4.9	15.2	311
		681		8916	5	15.2	319
		682		8649	5.2	15.3	318
		681		8819	5.0	15.2	316.0
	0.50 m			6348	2.8	18.1	212
				6554	2.9	18	208
				6213	2.9	18	209
				6372	2.9	18.0	209.7
0.20 m	672						
	674						
	675						
	674						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาแกลบที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 37 kg/hr
ปริมาณอากาศส่วนเกิน 120%, ความชื้น 10.3 %

Test 1.3		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combusor height , m	Stack	385	120.5	487	11.2	11.5	130
		386	122.8	492	11.3	11.6	131
		388	118.2	495	11.3	11.4	133
		386	120.5	491	11.3	11.5	131
	2.75 m	599		1104	10.4	11.8	189
		601		1259	10.5	11.9	193
		602		1078	10.6	12	197
		601		1147	10.5	11.9	193
	2.25 m	631		1893	9.4	12.2	249
		633		1934	9.5	12.2	252
		634		1965	9.5	12.1	251
		633		1931	9.5	12.2	251
	1.75 m	671		3104	7.9	12.7	311
		672		2996	8.2	12.9	316
		672		2906	8.4	12.9	318
		672		3002	8.2	12.8	315
	1.25 m	689		4551	6.9	13.5	392
		690		4623	7.1	13.7	395
		691		4675	7.2	13.7	404
		690		4616	7.1	13.6	397
	0.80 m	688		2879	3.6	15.7	289
		689		2865	3.8	15.6	295
		690		2771	3.8	15.6	302
		689		2838	3.7	15.6	295
	0.50 m			967	2.2	18.3	178
				1003	2.1	18.4	182
				1018	1.9	18.5	185
				996	2.1	18.4	182
	0.20 m	682					
		682					
		683					
		682					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาแกลบที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 82 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 %, ความชื้น 10.3 %

Test 1.4		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combusor height , m	Stack	462	16.9	11259	12.8	3.6	130
		463	16.5	12457	13	3.6	132
		465	17.0	12968	13	3.7	135
		463	16.8	12228	12.9	3.6	132
	2.75 m	662		14268	11.9	4.2	141
		665		15087	12	4.2	143
		666		14889	12.1	4.1	146
		664		14748	12.0	4.2	143
	2.25 m	730		18962	11.2	5.4	169
		731		19224	11.4	5.6	171
		732		19047	11.5	5.6	172
		731		19078	11.4	5.5	171
	1.75 m	769		22148	10.4	6.5	187
		771		21653	10.5	6.7	185
		772		21078	10.8	6.8	186
		771		21626	10.6	6.7	186
	1.25 m	798		28462	8.9	8.7	207
		799		29931	9	8.9	209
		800		27954	9.1	9	212
		799		28782	9.0	8.9	209
	0.80 m	792					
		793		> 40000			
		793					
		793					
	0.50 m						
	0.20 m	782					
		784					
785							
784							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาแกลบที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 82 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60 %, ความชื้น 10.3 %

Test 3.3		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combusstor height , m	Stack	483	62.1	1104	11.4	8.1	159
		484	59.6	1208	11.6	7.9	164
		486	58.4	1094	11.9	7.8	166
		484	60.0	1135	11.6	7.9	163
	2.75 m	722		4759	11.2	8.6	202
		724		5039	11.1	8.5	205
		725		5127	11.2	8.5	206
		724		4975	11.2	8.5	204
	2.25 m	761		11045	10.3	9.5	295
		762		10023	10.4	9.7	299
		764		10289	10.4	9.7	304
		762		10452	10.4	9.6	299
	1.75 m	796		17462	9	11.1	356
		798		17932	9.1	11.3	362
		800		17115	9.2	11.2	366
		798		17503	9.1	11.2	361
	1.25 m	822		20483	7.6	12.4	458
		824		21175	7.7	12.5	467
		825		19863	7.9	12.5	472
		824		20507	7.7	12.5	466
	0.80 m	793		15548	4.7	14	399
		795		16228	4.6	14.2	405
		796		16357	4.8	14	417
		795		16044	4.7	14.1	407
	0.50 m			11056	2.7	18.2	278
				10548	2.9	18.4	281
				11239	3	18.4	283
				10948	2.9	18.3	281
0.20 m	785						
	786						
	788						
	786						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาแกลบที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 82 kg/hr
 ปริมาณอากาศส่วนเกิน 120 %, ความชื้น 10.3 %

Test 1.6		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO2 , %	O2 , %	NOx , ppm
Combustor height , m	Stack	512	118.0	634	11.1	11.4	179
		522	122.6	689	11.2	11.6	182
		525	124.9	712	10.9	11.7	186
		520	121.9	678	11.1	11.6	182
	2.75 m	749		2748	10.6	11.9	299
		752		2669	10.9	11.8	304
		753		2712	10.9	11.9	311
		751		2710	10.8	11.9	305
	2.25 m	798		5421	10	12.2	369
		799		5632	10	12.1	375
		802		5548	9.9	12.1	381
		800		5534	10.0	12.1	375
	1.75 m	835		11846	8.9	13.2	498
		836		11923	8.9	13.2	502
		838		11079	9	13.3	505
		836		11616	8.9	13.2	502
	1.25 m	815		7869	6.2	14.5	402
		818		7994	6.5	14.6	411
		819		8004	6.6	14.7	416
		817		7956	6.4	14.6	410
	0.80 m	799		4899	4.2	16.2	347
		800		5023	4.4	15.9	352
		802		5047	4.6	16	355
		800		4990	4.4	16.0	351
	0.50 m			2881	2.1	18.5	245
				2924	2.2	18.6	248
				2758	2.2	18.6	256
				2854	2.2	18.6	250
0.20 m	788						
	789						
	788						
	788						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาไหม้อ้อยที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 31 kg/hr
 ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 %, ความชื้น 14.4 %

Test 1.7		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combustor height , m	Stack	308	19.4	1628	12.9	3.5	65
		309	19.5	1432	13	3.5	69
		311	20.2	1487	13.1	3.6	72
		309	19.7	1516	13.0	3.5	69
	2.75 m	522		2109	12.2	4.1	89
		523		2007	12.3	3.9	89
		523		1993	12.3	4	90
		523		2036	12.3	4.0	89
	2.25 m	557		2874	10.9	4.4	97
		558		2765	10.9	4.5	99
		560		2793	11	4.7	102
		558		2811	10.9	4.5	99
	1.75 m	583		3227	10.2	7.8	105
		583		3459	10.1	7.8	106
		585		3552	10.1	7.9	106
		584		3413	10.1	7.8	106
	1.25 m	614		7113	8.4	10.4	109
		615		6953	8.2	10.6	110
		615		7008	8.2	10.7	110
		615		7025	8.3	10.6	110
	0.80 m	637		13064	7	12.1	99
		639		15714	6.9	11.9	104
		640		14732	6.9	11.9	105
		639		14503	6.9	12.0	103
	0.50 m			2654	3.7	18.4	75
				2871	3.5	18.2	75
				2736	3.4	18.4	78
				2754	3.5	18.3	76
	0.20 m	629					
		630					
		631					
		630					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาขาน้อยที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 31 kg/hr, ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60 %, ความชื้น 14.4 %

Test 1.8		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combustor height , m	Stack	328	62.3	742	12.1	8.1	78
		330	63.6	789	12.2	8.2	79
		332	61.0	801	12.2	8	80
		330	62.3	777	12.2	8.1	79.0
	2.75 m	557		1478	10.8	8.7	101
		559		1523	10.9	8.7	102
		560		1552	11	8.8	102
		559		1518	10.9	8.7	101.7
	2.25 m	597		1962	9.9	10.4	112
		599		2025	10.2	10.5	113
		599		2114	10.3	10.5	115
		598		2034	10.1	10.5	113.3
	1.75 m	622		3004	8.9	11	119
		624		2987	8.9	11.1	119
		625		2863	9	11.2	120
		624		2951	8.9	11.1	119.3
	1.25 m	640		3845	7.2	12	125
		642		4002	7.2	11.9	126
		643		3956	7.4	11.9	127
		642		3934	7.3	11.9	126.0
	0.80 m	655		5743	5.2	14.2	124
		657		5623	5.1	13.9	126
		657		5698	5.1	14.1	126
		656		5688	5.1	14.1	125.3
	0.50 m			801	2.3	18.8	79
				856	2.2	18.5	82
				874	2.3	18.5	82
				844	2.3	18.6	81.0
	0.20 m	630					
		632					
		633					
		632					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาไหม้อ้อยที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 31 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกิน 120 %, ความชื้น 14.4 %

Test 1.9		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO2 , %	O2 , %	NOx , ppm
Combusor height , m	Stack	362	123.0	299	11.3	11.6	84
		362	118.4	294	11.5	11.4	87
		364	123.0	313	11.2	11.6	89
		363	121.5	302	11.3	11.5	86.7
	2.75 m	598		699	10.5	11.9	101
		600		758	10.8	11.8	105
		601		786	10.9	11.8	105
		600		748	10.7	11.8	103.7
	2.25 m	628		1217	9.7	11.9	118
		630		1229	9.8	12.2	119
		630		1314	9.9	12.3	119
		629		1253	9.8	12.1	118.7
	1.75 m	658		1218	9	13	126
		659		1324	8.8	12.9	128
		659		1289	8.8	13.1	128
		659		1277	8.9	13.0	127.3
	1.25 m	672		1963	5.3	13.7	132
		673		2017	5.5	14	133
		673		2008	5.6	14	135
		673		1996	5.5	13.9	133.3
	0.80 m	659		2274	3.5	15.5	129
		660		2328	3.2	15.6	129
		662		2316	3.3	15.6	127
		660		2306	3.3	15.6	128.3
	0.50 m			874	1.5	18.9	81
				785	1.7	19	84
				799	1.6	19.1	85
				819	1.6	19.0	83.3
0.20 m	639						
	640						
	640						
	640						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาไหม้อ้อยที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 70 kg/hr
ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 %, ความชื้น 14.4 %

Test 1.10		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combusstor height , m	Stack	402	18.6	10021	12.7	3.8	89
		403	18.2	11245	12.8	3.8	92
		405	17.0	11038	12.8	3.6	94
		403	17.9	10768	12.8	3.7	91.7
	2.75 m	600		14215	11.9	4.2	99
		602		13684	12	4.3	100
		602		13457	12.1	4.3	101
		601		13785	12.0	4.3	100.0
	2.25 m	621		19984	11	5.1	109
		623		18457	11.2	5.2	110
		624		18923	11.2	5	110
		623		19121	11.1	5.1	109.7
	1.75 m	637		24215	10	7.9	115
		639		23259	10	8	117
		640		23104	10.2	8.1	118
		639		23526	10.1	8.0	116.7
	1.25 m	653		39999	7.9	10.2	121
		654		37452	8.1	10.3	123
		654		36841	8.2	10.3	122
		654		38097	8.1	10.3	122.0
	0.80 m	666		40000			
		668		40000			
		668		40000			
		667		40000			
	0.50 m			2589	3.1	18.2	73
				2457	3.2	18.4	75
				2324	3.2	18.4	76
				2457	3.2	18.3	74.7
0.20 m	660						
	661						
	662						
	661						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาไหม้อ้อยที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 70 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60 %, ความชื้น 14.4 %

Test 10.11		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO2 , %	O2 , %	NOx , ppm
Combustor height , m	Stack	425	62.9	1795	11.8	8.2	101
		426	61.7	1784	11.9	8.1	103
		428	61.6	1923	11.9	8.1	103
		426	62.1	1834	11.9	8.1	102.3
	2.75 m	634		2001	11	9.2	107
		635		2124	10.9	9.3	108
		636		2234	10.9	9.4	109
		635		2120	10.9	9.3	108.0
	2.25 m	650		2875	9.5	10	112
		652		2896	9.6	10.1	114
		653		2993	9.6	10.1	114
		652		2921	9.6	10.1	113.3
	1.75 m	671		3674	8.4	10.9	122
		671		3749	8.7	11	124
		673		3786	8.7	11	125
		672		3736	8.6	11.0	123.7
	1.25 m	682		5874	7.5	12.2	129
		684		5762	7.6	12.3	131
		685		5798	7.6	12.3	132
		684		5811	7.6	12.3	130.7
	0.80 m	673		4621	4.9	15.1	121
		673		4785	5.1	14.9	123
		675		4782	5	14.9	123
		674		4729	5.0	15.0	122.3
	0.50 m			998	2.7	18.5	78
				865	2.7	18.5	81
				894	2.8	18.4	82
				919	2.7	18.5	80.3
0.20 m	669						
	672						
	673						
	671						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเผาไหม้อ้อยที่ความสูงเบด 20 cm, อัตราการป้อน 70 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกิน 120 %, ความชื้น 14.4 %

Test 10.12		Temp. , C	Excess air, %	CO , ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO _x , ppm
Combustor height , m	Stack	448	118.0	645	11.1	11.4	113
		450	120.3	689	10.9	11.5	115
		452	124.9	712	11	11.7	118
		450	121.1	682	11.0	11.5	115.3
	2.75 m	652		1004	9.9	11.9	115
		653		1125	10	11.7	118
		655		1124	10	11.7	120
		653		1084	10.0	11.8	117.7
	2.25 m	671		1648	9.5	12	121
		672		1696	9.8	12	122
		672		1702	9.8	12	122
		672		1682	9.7	12.0	121.7
	1.75 m	682		1963	8.3	12.9	129
		684		2003	8.4	12.8	129
		685		1867	8.1	12.6	131
		684		1944	8.3	12.8	129.7
	1.25 m	697		2553	7.3	14	134
		699		2589	7.3	14.3	138
		700		2604	7.4	14.1	139
		699		2582	7.3	14.1	137.0
	0.80 m	684		1782	4.9	15.2	128
		686		1823	5.1	15.4	129
		687		1895	5	15.5	130
		686		1833	5.0	15.4	129.0
	0.50 m			859	1.8	18.7	81
				902	2	18.8	83
				876	2.1	18.8	84
				879	2.0	18.8	82.7
0.20 m	678						
	678						
	679						
	678						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาไหม้แกลบและขานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด
EXPERIMENTAL STUDY OF RICE HUSK AND BAGASSE FIRING IN
FLUIDIZED BED COMBUSTOR

วัชรระ เพิ่มชาติ¹, วิทยา หอสุวรรณานนท์² และ วิโรจน์ เสระศาสตร์²

¹อาจารย์, ²นักศึกษาระดับปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ. หลอดกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวัยเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ร่วมกับหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเผาไหม้แกลบและขานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด ตลอดจนศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา (Combustion Efficiency) รวมถึงมลพิษ (Emissions) ที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกินและอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ในการทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิและมลพิษที่เกิดขึ้นภายในเตาตลอดความสูงของเตา ได้แก่ การบอมนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณอากาศส่วนเกินและอัตราการป้อนเชื้อเพลิง มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในเตาเผา แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาทั้งสองอยู่ในเกณฑ์สูง คือ เมื่อใช้แกลบจะอยู่ในช่วง 89 – 91% และเมื่อใช้ขานอ้อยจะอยู่ในช่วง 98 – 99% ตามลำดับ

ABSTRACT: This research is focused on a study of biomass fluidized bed combustor (biomass FBC) connected to an industrial steam boiler by using rice husk and sugarcane bagasse as the fuels. The effects of excess air ratio and fuel feed rate on combustion performance of this combustor were studied. In the experimental tests, the temperature and gaseous emissions along over the combustor height in the conical FBC were measured. The results have shown that the excess air and fuel feed rate have effects on combustion efficiency of FBC; however, the combustion efficiencies were found to be in the high ranges of 89-91% and 98-99% when firing rice husk and sugarcane bagasse respectively.

Keywords: Fluidized bed combustor, Excess air, Fuel feed rate, Combustion efficiency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในประเทศไทยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Agricultural Residues) หรือที่เรียกว่า ชีวมวล นั้นมีหลายชนิด เช่น เศษไม้ แกลบ ชังข้าวโพด ชานอ้อย กากปาล์ม เป็นต้น แต่ชีวมวลที่มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้มีเพียง 2-3 ชนิดเท่านั้น แกลบและชานอ้อย นับว่าเป็นชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม (Industrial Sector) ที่มีการใช้พลังงานมากเป็นอันดับที่สองของประเทศรองจากภาคขนส่ง (Transport Sector) ในปี 2543 ประเทศไทยมีการผลิตแกลบจากการปลูกข้าวมากกว่า 5.3 ล้านตัน โดยที่ 45.3% เท่านั้นที่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานและวัตถุประสงค์อื่นๆ ทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและภาคที่อยู่อาศัย (Residential Sector) ที่เหลืออีก 54.7% ถูกทิ้งโดยไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด ในขณะที่มีชานอ้อยจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลในปริมาณถึง 16.6 ล้านตัน [1,2] ซึ่งถึงแม้ว่าชานอ้อยดังกล่าวจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานในอุตสาหกรรมน้ำตาลเกือบทั้งหมดก็ตาม แต่เดาเหารวมทั้งหมดไอน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่ในโรงงานน้ำตาลมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงทั้งในส่วนของการปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตพลังงานและการหาพลังงานทดแทนอื่นๆ มาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาถึงการนำประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมุ่งที่จะศึกษาการเผาไหม้แกลบและชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuels) ทุกประเภท [3,4,5,6,7] ตลอดจนประเมินค่ามลพิษจากการเผาไหม้และประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาที่สร้างขึ้นด้วย

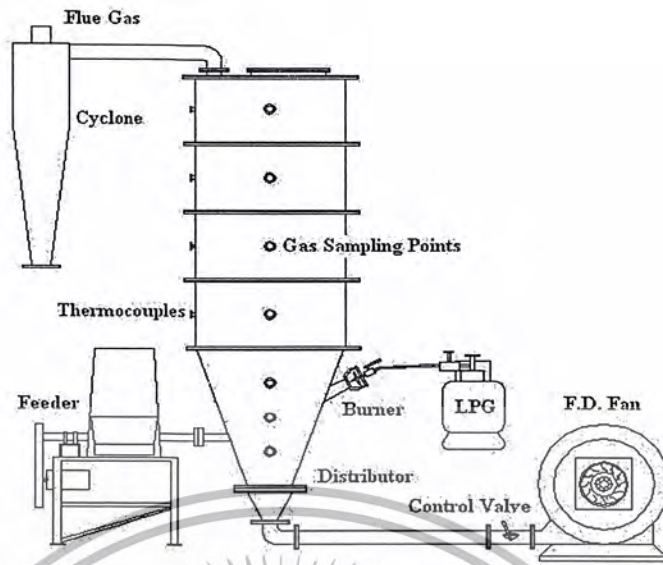
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบและชานอ้อยที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและชานอ้อย (% wt)

Properties and Compositions	Rice Husk	Bagasse
C	37.9	41.1
H	4.82	6.44
O	34.9	49.9
N	0.43	0.25
S	0.17	0.16
Ash	21.78	2.15
LHV (MJ/kg)	12.32	12.60
Moisture content	10.3	14.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

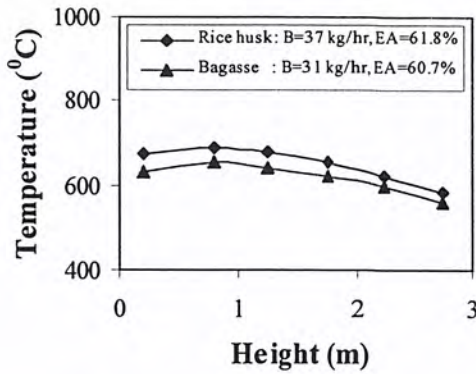


ภาพที่ 1 โค้ดแกรม Set-up การทดลอง

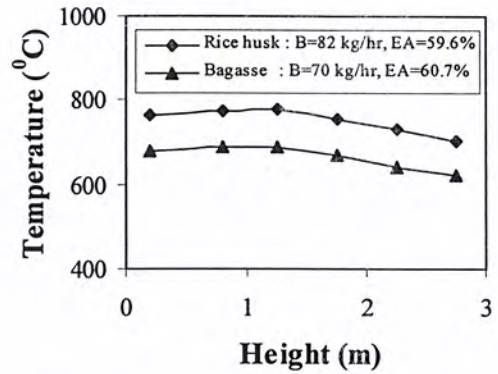
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่สร้างขึ้น โดยตัวเตาเผามีลักษณะเป็นทรงกระบอกกึ่งเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 ซม. สูง 3 ม. ทำด้วยเหล็กหนา 4.5 มม. ติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดดังแสดงในภาพ ในการทดลอง จะทำการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ตลอดความสูงตัวเตา และค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ทั้งภายในเตาและที่ปล่องปล่อยไอเสีย มลพิษที่ทำการวัดได้แก่ CO และ NO_x ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้จะอยู่ในช่วง 20-120% และอัตราการป้อนแกลบและขานอ้อยเป็น 37 และ 82 กก/ชม. สำหรับแกลบ ส่วนขานอ้อยใช้อัตราการป้อน 31 และ 70 กก/ชม. โดยการทดลองจะเริ่มจากการจุดเตาโดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง เพื่ออุ่นทรายที่ใช้เป็นเบดภายในเตาให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่แกลบและขานอ้อยสามารถติดไฟได้เอง (ประมาณ 550 องศาเซลเซียส) จากนั้นจึงเริ่มป้อนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินสำหรับการทดลอง

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการวัดอุณหภูมิและมลพิษที่หน้าตัดเตาตามแนวรัศมี พบว่า อุณหภูมิและมลพิษมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน โดยที่บริเวณผนังเตามีอุณหภูมิต่ำลงเล็กน้อยเนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตา เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ค่าที่จุดกึ่งกลางเตาเป็นตัวแทนในการวัดค่าต่างๆ จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มีผลต่อค่าอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาเผา ซึ่งพบว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงจะให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาเผาที่สูงกว่า เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้มีมากขึ้น นอกจากนี้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตายังค่อนข้างจะสม่ำเสมอและภาพยังแสดงบริเวณที่เกิดเผาไหม้มากที่สุด หรือเรียกว่าโซนการเผาไหม้ (บริเวณที่มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด) แกลบจะให้ระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่าขานอ้อย เนื่องจากขานอ้อยที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นที่สูงกว่าแกลบ และอัตราการป้อนขานอ้อยที่ทำให้ในการทดลองมีค่าน้อยกว่าแกลบ เนื่องจากปัญหาการจับตัวเป็นก้อนของขานอ้อยหลังจากลดความชื้นด้วยการผึ่งแดดเป็นเวลา 5 ถึง 7 วัน

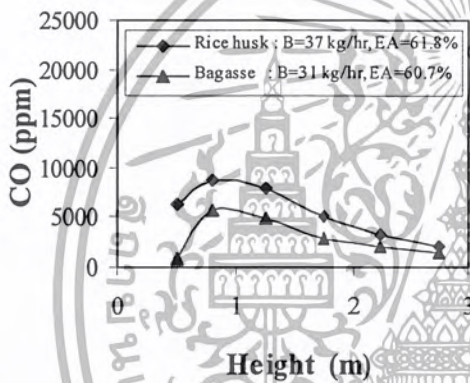


(a)

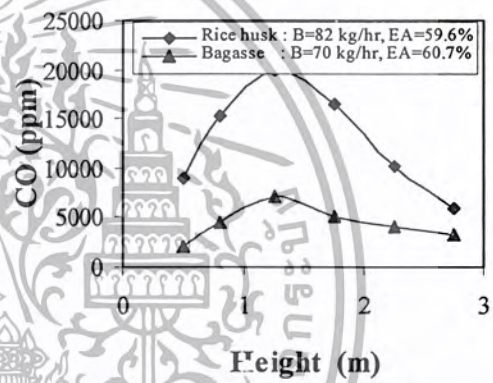


(b)

ภาพที่ 2 อุณหภูมิภายในเตาที่ (a) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ และ (b) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง ของแกลบและขาน้อยที่ปริมาณอากาศส่วนเกินในช่วง 59-62%



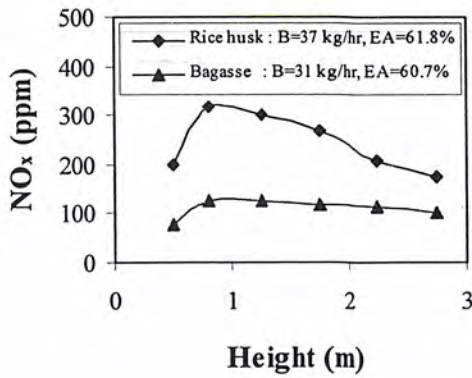
(a)



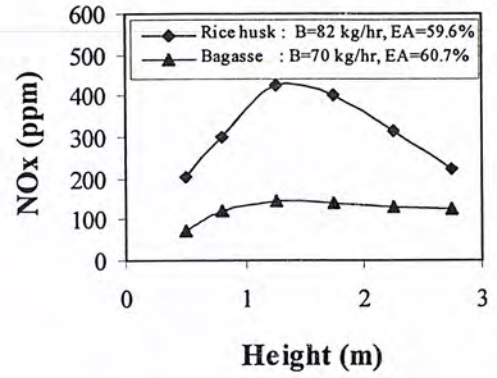
(b)

ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ (a) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ และ (b) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง ของแกลบและขาน้อยที่ปริมาณอากาศส่วนเกินในช่วง 59-62%

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 จะเห็นว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเกิด CO และ NO_x ภายในเตา รวมถึงปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกจากเตาดังแสดงในภาพจะเห็นว่า ลักษณะของ CO และ NO_x จะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการก่อตัว (Formation) และช่วงการลดลง (Reduction) ปริมาณ CO และ NO_x สูงสุด จะเกิดในบริเวณโซนการเผาไหม้ (บริเวณที่อุณหภูมิสูงที่สุดในเตา) ในช่วง Formation ของ CO และ NO_x นั้น เนื่องจากเป็นช่วงแรกของการเผาไหม้ สารระเหย (Volatiles) ต่างๆ เช่น CO, CH_4 , H_2 และไอน้ำ จะออกมาจากเชื้อเพลิง ส่วนออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในเชื้อเพลิงกลายเป็น NO_x หลังจากนั้น CO จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็น CO_2 ในขณะที่ NO_x จะทำปฏิกิริยากลายเป็น N_2 นอกจากนี้จะเห็นว่าทั้ง CO และ NO_x ในกรณีของแกลบจะมากกว่าขาน้อย เนื่องจากแกลบมีการเผาไหม้ที่ยากกว่าเพราะมีขนาดใหญ่กว่าและมีปริมาณเถ้า (Ash) ที่มากกว่า รวมทั้งในแกลบมีองค์ประกอบที่เป็นไนโตรเจนในสัดส่วนที่สูงกว่าขาน้อยตามลำดับ ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณ CO และ NO_x ในกรณีของการเผาแกลบเกิดขึ้นในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับขาน้อย

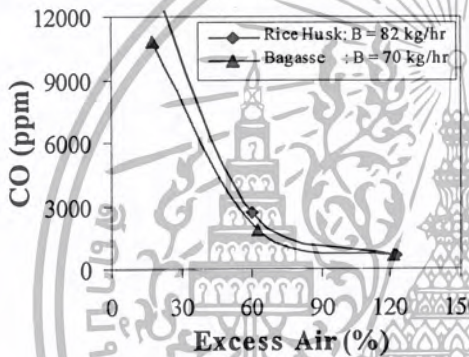


(a)

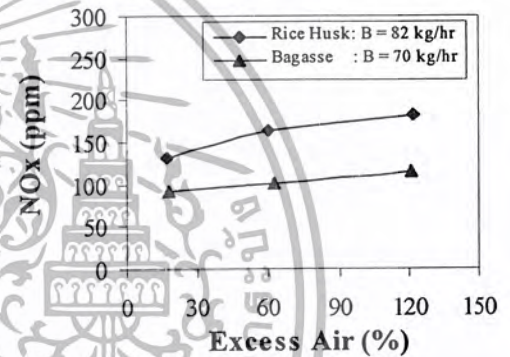


(b)

ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของออกไซด์ของไนโตรเจนที่ (a) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ และ (b) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง ของแกลบและชานอ้อยที่ปริมาณอากาศส่วนเกินในช่วง 59-62%



(a)



(b)

ภาพที่ 5 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีต่อความเข้มข้นที่ปล่อยปล่อยไอเสียของ (a) คาร์บอนมอนอกไซด์ และ (b) ออกไซด์ของไนโตรเจน

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินให้เข้าสู่เตาเผามากขึ้น พบว่า ปริมาณของ CO จะลดลงแต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณของ NO_x จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การที่ปริมาณของ CO ลดลงเนื่องมาจาก CO ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่มาจากปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น ทำให้ CO ถูกออกซิไดซ์กลายเป็น CO₂ [8] ส่วนการที่ NO_x เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากออกซิเจนที่มาจากปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น จะเข้ามาทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิง รวมทั้งปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นนี้ ส่งผลให้อุณหภูมิของไอเสียที่ออกจากเตามีค่าสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำให้ NO_x ในไอเสียที่วัดได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น [9,11]

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency) ของเตาเผานั้น พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตา ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ในขี้เถ้า (Unburned Carbon) และปริมาณ CO ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) [10] ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแกลบและชานอ้อย ตลอดจนความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากปัจจัยทั้ง 2 ดังกล่าวข้างต้น โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ในช่วง 95-99% และ 89-91% เมื่อใช้เผาชานอ้อยและแกลบตามลำดับ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา

Biomass	Excess Air (%)	Heat loss due to unburned carbon (%)	Heat loss due to incomplete combustion (%)	Combustion efficiency (%)
Rice Husk	16.8	6.47	4.39	89.1
	60.0	8.52	0.55	90.93
	121.9	9.97	0.44	89.59
Bagasse	17.9	0.02	4.06	95.92
	62.1	0.02	0.95	99.03
	121.1	0.06	0.50	99.44

4. สรุปผลการทดลอง

เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดที่สร้างขึ้นสามารถเผาแกลบและขาน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองพบว่า การเผาไหม้ของขาน้อยจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการเผาแกลบ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบที่ต่างจากขาน้อยในเรื่องของขนาด แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้นั้น พบว่า ปริมาณอากาศส่วนเกินมีผลอย่างมาก ดังนั้นถ้าหากสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ก็จะทำให้ควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้นได้ และข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่านหินหรือถ่านหิน คือ จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการปล่อยก๊าซ SO₂ ผู้บริษัทยาสูบได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย. เชื้อเพลิงชีวมวล. วารสารพลังงาน 2541; 43: 16-42.
2. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2543, 2543: 27 หน้า.
3. เสรีย์ คู่ประกาย. การศึกษาการออกแบบเตาเผาจากตะกอนแบบฟลูอิด ไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2540.
4. Suwanyuen S, Chayawatana T, Surachpakorn Y, Tangsathikulchai C, Tia S. Combustion of rice hull in a fluidized bed furnace. ASEAN Journal on Science and Technology for Development 1992. 9(2) : 107-115.
5. Liu H, Lin Z, Wu W. Combustion Characteristics of Rice Husk in Fluidized Beds. Proc of 13 th Int Conf on Fluidized Bed Combustion 1995; 615-618.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Yokoyama S, Ogi T, Nalampoon A. Biomass Energy Potential in Thailand. *Biomass & Bioenergy* 2000; 18 : 405-410.
7. Hoque MM, Bhattacharya SC. Fuel Characteristics of Gasified Coconut Shell in a Fluidized and a Spouted Bed Reactor. *Energy* 2001; 26 : 101-110.
8. Tillman DA, Rossi AJ, Kitto WD. Wood combustion. New York (USA) : Academic Press, 1981.
9. Winter F, Wartha C, Hofbeuer H. Energy conversion from biomass part II. *Bioresource Technology* 1999. 70 : 39-49.
10. Bhattacharya SC, Narendra S, Alikhani Z. Some aspects of rice husk combustion in FBC. *Applied Energy* 1984. 16 : 307-316.
11. Werther J, Saenger M, Hartge E-U, Ogada T, Siagi Z. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science* 2000. 26(1) : 1-27.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ วัชรระ เพิ่มชาติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้แนวความคิด พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการแก้ปัญหาต่าง ๆ และการช่วยเหลือในด้านอื่น ๆ อีกอย่างดียิ่ง อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร และคณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้ความเอื้อทางด้านอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณกรรมการควบคุมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณจิตราพร กังสวัสดิ์ คุณพัชรา เอ็มอ้าไผงศ์ และคุณน้อย ประทีป ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านธุรการ ตลอดจน นายอภิย์ คำทัง และนายเข้ม สมบูรณ์ เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ

อีกทั้งคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน และผู้เกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ไม่ว่าจะเป็นทั้งที่ปรึกษา และช่วยเหลือ รวมถึงเป็นกำลังใจให้แก่กลุ่มของผู้จัดทำจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้เป็นกำลังใจ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม , “รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2543”, หน้า 5-11, 2543
2. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, “วารสารพลังงาน ฉบับเชื้อเพลิงชีวมวล”, ปีที่ 9, ฉบับที่43, หน้า 16-42,2541
3. H.,Liu, Z.,Lin, D.,Liu and W.,Wu(1995).” Combustion Characteristics of Rice Husk in Fluidized Beds, Proceedings of The 13th International Conference on Fluidized Bed Combustion ”, pp. 615-618. The American Society of Mechanical Engineers, New York.
4. S.,Yokoyama, T.,Ogi and A.,Nalampoon (2000), “ Biomass Energy Potential in Thailand, *Biomass & Bioenergy* ”, 18, pp. 405-410.
5. วัชรระ เพิ่มชาติ, “ผลของความชื้นและอากาศส่วนเกินต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาชีวมวล”, การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, วันที่ 24 พฤษภาคม, หน้า 59-64, 2545.
6. Asian Institute of Technology, “EC ASEAN COGEN Programme Report”, <http://www.cogen.ait.ac.th>.
7. M.M.Hoque, S.C.Bhattachaya,”Fuel Characteristic of Gasified Coconut Shell in a Fluidized and a Spouted Bed Reactor”, *Energy*, Vol.26, pp.101-110, 2001.
8. S.,Yokoyama, T.,Ogi and A.,Nalampoon (2000), “ Biomass Energy Potential in Thailand, *Biomass & Bioenergy* ”, 18, pp. 405-410.
9. S.C.,Bhattacharya, Z.,Alikhani and W.,Narendra (1983).” Fluidized Bed Combustion of Paddy Husk, International Symposium / Workshop on Renewable Energy Sources ”, pp. 113-120, Pakistan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. D.,Kunii and O.,Levenspiel (1977), *Fluidization Engineering*. John Wiley and Sons, New York.
11. P.,Mckendry (2002), Energy Production from Biomass (Part II): Conversion Technologies, *Bioresource Technology*, 83, pp. 47-54.
12. Robert R. Bakker, Bryan M. Jenkins, and Robert B. Williams (2002), “Fluidized Bed Combustion of Leached Rice Straw”, pp. 356-365. *Energy & Fuels* 2002, 16.
13. J. Baron, E.M. Bulewicz and W. Zukowski (2002), “ Combustion of Hydrocarbon Fuels in a bubbling Fluidized Bed”, pp. 410-421.Poland.
14. วัชร เพิ่มชาติ และ สมพร ธเนศวานิชย์, “การเผาไหม้ในระบบฟลูอิดไดซ์เบด”, วารสารประสิทธิภาพพลังงาน, ปี 11, ฉบับที่ 55, หน้า 32-34, 2544.
15. เสรีชัย ผู้ประภาย, “การศึกษาการออกแบบเตาเผาอากาศก่อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.

