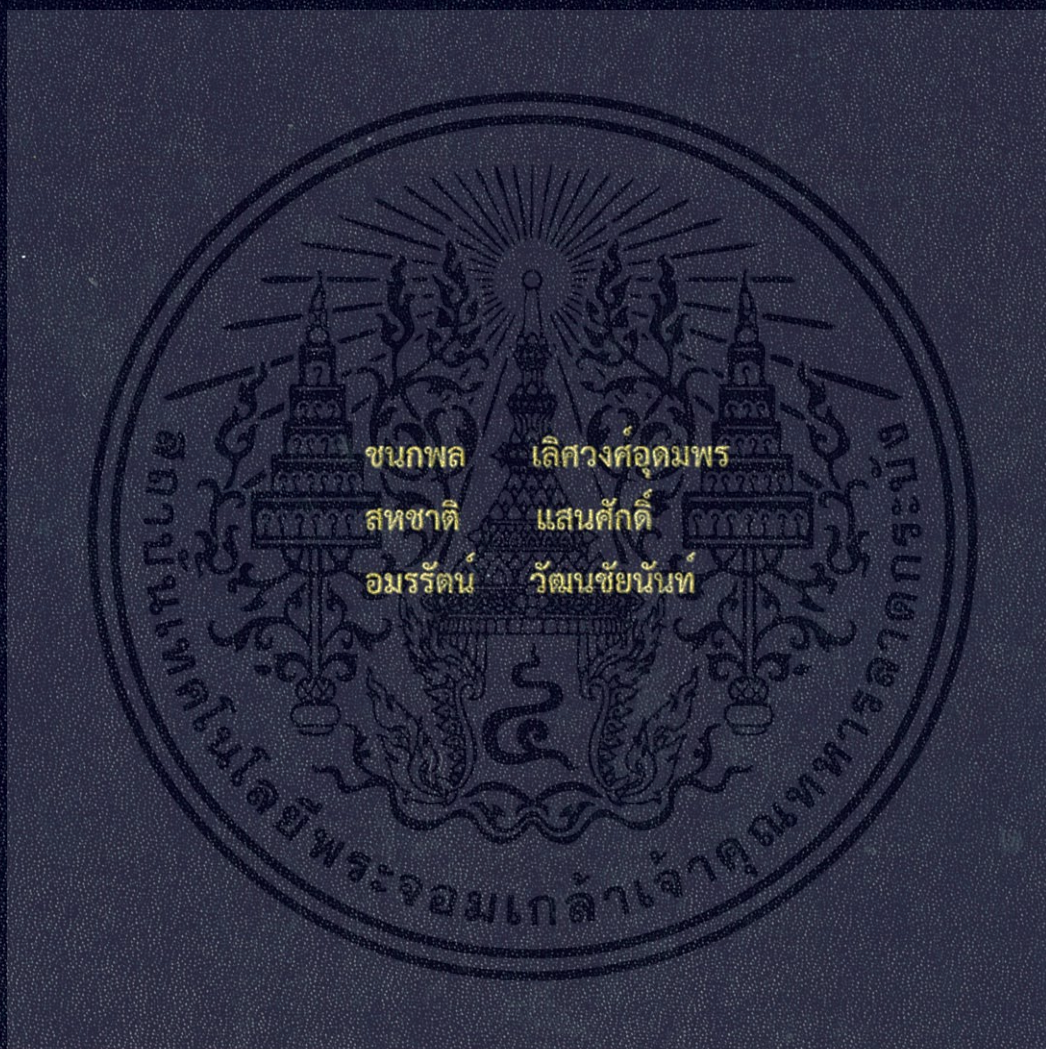


ผักตบชวาแหล่งของการผลิตพลังงานแทนวัชพืชไร้ค่าโดยใช้
เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน

Water hyacinths as a resource of energy production instead of
worthless weed by using conical swirling fluidized bed combustor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ผักตบชวาแหล่งของการผลิตพลังงานแทนวัชพืชไร้ค่าโดยใช้
เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน
Water hyacinths as a resource of energy production instead of worthless
weed by using conical swirling fluidized bed combustor



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Water hyacinths as a resource of energy production instead of worthless weed by using conical swirling fluidized bed combustor



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ผักตบชวาแหล่งของการผลิตพลังงานแทนวัชพืชไร้ค่าโดยใช้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด
ทรงกรวยแบบหมุนวน
Water hyacinths as a resource of energy production instead of
worthless weed by using conical swirling fluidized bed combustor

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชนกพล เลิศวงศ์อุดมพร รหัสประจำตัว 54010259
นายสหชาติ แสนศักดิ์ รหัสประจำตัว 54011345
นางสาวอมรรัตน์ วัฒนชัยนันท์ รหัสประจำตัว 54011505

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2557

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|--------------------|
| ดร. รัชดาภรณ์ แก้วกล้า | รัชดาภรณ์ แก้วกล้า |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|--------------------|---|----------------|----------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | ผักตบชวาแหล่งของการผลิตพลังงานแทนพืชไร่ค่าโดยใช้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน | | |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายชนกพล | เลิศวงศ์อุดมพร | 54010259 |
| | นายสหชาติ | แสนศักดิ์ | 54011345 |
| | นางสาวอมรรัตน์ | วัฒน์ชัยนันท์ | 54011505 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร. รัชดาภรณ์ แก้วกล้า | | |
| ปีการศึกษา | 2557 | | |

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำผักตบชวาแถวเขตลาดกระบัง ซึ่งมีจำนวนมากถึง 34 คลองและ 6 ลำราง จึงเป็นที่มาของผักตบชวาจำนวนมากที่เจริญเติบโตขึ้นในคลองและลำรางนี้ การศึกษานี้จึงพัฒนาเป็นต้นแบบของการนำผักตบชวา ที่ถือว่าเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงต่อแหล่งน้ำเพราะแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว มาทำการเปลี่ยนแปลงสภาพให้กลายเป็นแหล่งพลังงาน แต่ด้วยค่าความร้อนของผักตบชวา (10.9 MJ/kg) มีค่าน้อยจึงนำแกลบซึ่งถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายแถวลาดกระบัง มาเป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน เพื่อนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ผักตบชวาไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น ใช้ในกระบวนการอบแห้ง กระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

ในการทดลองนี้ผักตบชวาถูกลดความชื้นด้วยการตากแดดให้มีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 10-15% ทรายขนาด 600-850 ไมโครเมตร ถูกใช้เป็นเบด สูง 20 เซนติเมตร อากาศภายในเตาเกิดการหมุนวนโดยการจ่ายอากาศผ่านหัวกระจายลมแบบ annular spiral distributor ซึ่งทำมุม 76 องศา จากแนวตั้ง และอากาศส่วนเกินที่ทางออกของไซโคลอน 20-80% วัดความเข้มข้นของออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนตริกออกไซด์รวมทั้งอุณหภูมิในแนวแกนและแนวรัศมีของเตา อัตราการป้อนผักตบชวาผสมแกลบอยู่ที่ 50 กิโลกรัม/ชั่วโมง

จากการทดลองพบว่าเมื่อเผาไหม้ผักตบชวาและแกลบ อุณหภูมิเฉลี่ยตามความสูงของเตาจะประมาณ 700 องศาเซลเซียส มลพิษที่ได้จากการเผาไหม้ เช่น ไนตริกออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 100-200 ppm และ 200-300 ppm ตามลำดับ และมลพิษจะมีค่าลดลงเมื่อจ่ายอากาศส่วนเกินที่สูงขึ้น อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้จะประมาณ 400 องศาเซลเซียส เมื่ออากาศส่วนเกิน 20-80% ถ้าหากก๊าซไอเสียนี้ไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะสามารถนำอากาศร้อนนั้นไปใช้งานได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------|---|
| Title | Combustion and emission characteristic for firing water hyacinth and palmyra palm shell in a conical swirling fluidized-bed combustor |
| Authors | Chanokpon Leatwong-udomporn Sahachart Sansak Amornrat Watthanachainan |
| Thesis Advisor | Dr.Rachadaporn Kaewklum |
| Year | 2014 |

Abstract

This research aimed to investigate water hyacinths in LatKrabang canals, Bangkok. A lot of Water Hyacinths are growing up in 34 canals. This research was formulated as a model of biomass (water hyacinths). The water hyacinths gave very low the heating values (10.9 MJ / kg) hence it was mixed with rice husk. The cofiring (water hyacinths mixed with rice husk) was burned in conical swirling fluidized bed combustor. This research was utilized as drying, electricity generation etc.

The water hyacinths were reduced the moisture (10-15% moisture content), quartz sand of 600-850 micrometer, static bed height of 20 cm. and the air annular spiral distributor with 76 degrees to vertical axis. For all of tests, the feed rate was fixed at 50 kg/hr for variable excess air (of 20, 40, 60, 80%). Axial temperature, radial temperature, CO and NO concentrations inside the combustor and the emission at cyclone outlet were investigated.

As the results, the average temperature of the combustor about 700 °C, the CO and NO concentrations were found in stable level (in 100-200 ppm and 200-300 ppm respectively). Increasing the excess air found reduction of emission and the temperature of the exhaust gases from cyclone about 400 °C. This exhaust gases will be valuable, such as heat recovery.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ดร. รัชดาภรณ์ แก้วกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

| | | |
|----------------|----------------|----------|
| นายชนกพล | เลิศวงศ์อุดมพร | 54010259 |
| นายสหชาติ | แสนศักดิ์ | 54011345 |
| นางสาวอมรรัตน์ | วัฒนชัยนันท์ | 54011505 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญรูปภาพ..... | VII |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ชีวมวล..... | 4 |
| 2.1.1 ผักตบชวา..... | 4 |
| 2.1.2 แกลบ..... | 5 |
| 2.2 เบริด..... | 6 |
| 2.2.1 การแบ่งกลุ่มอนุภาคของเบริด..... | 6 |
| 2.3 ฟลูอิดไดซ์เบริด..... | 7 |
| 2.3.1 เบริดนิ่ง..... | 8 |
| 2.3.2 เบริดแบบฟองก๊าซ..... | 8 |
| 2.3.3 เบริดแบบสลัก..... | 8 |
| 2.3.4 เบริดแบบปั่นป่วน..... | 9 |
| 2.4 การเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน..... | 9 |
| 2.5 การเผาไหม้..... | 11 |
| 2.5.1 ปฏิกริยาเคมีของการเผา..... | 11 |
| 2.5.2 อากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์..... | 11 |
| 2.5.3 อากาศส่วนเกิน..... | 11 |
| 2.6 เตาฟลูอิดไดซ์เบริด..... | 12 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.6.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเตาฟลูอิดไดซ์เบด..... | 12 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 18 |
| บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย..... | 27 |
| 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย..... | 27 |
| 3.1.1 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน..... | 27 |
| 3.1.2 พัดลม (Blowers)..... | 28 |
| 3.1.3 หัวกระจายลม (Distributor)..... | 28 |
| 3.1.4 หัวเผา (Burner)..... | 29 |
| 3.1.5 เครื่องย่อยฝักตบชา..... | 29 |
| 3.1.6 ทราย..... | 30 |
| 3.1.7 U-tube Manometer..... | 30 |
| 3.1.8 เครื่องวัดมลพิษ (Testo 350XL)..... | 31 |
| 3.1.9 เทอร์โมคัปเปิล..... | 31 |
| 3.1.10 ฝักตบชา..... | 32 |
| 3.1.11 แกลบ..... | 32 |
| 3.3 ระยะเวลาการวิจัย..... | 33 |
| 3.4 งบประมาณการวิจัย..... | 33 |
| 3.5 การวางแผนการทดลอง..... | 33 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 35 |
| 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง..... | 35 |
| 4.2 การทดลองหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงโดยเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียว..... | 35 |
| 4.3 ผลการทดสอบการเผาไหม้จากเครื่อง TGA..... | 37 |
| 4.4 ผลการทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงฝักตบชาผสมแกลบ..... | 38 |
| 4.4.1 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในเตา Conical SFBC..... | 38 |
| 4.4.2 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อ O ₂ ภายในเตา Conical SFBC..... | 40 |
| 4.4.3 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเกิด CO ภายในเตา Conical SFBC..... | 40 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.4.4 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเกิด NO ภายในเตา Conical SFBC..... | 41 |
| 4.4.5 ผลกระทบเมื่อเปลี่ยนแปลงอากาศส่วนเกินต่อมลพิษ..... | 42 |
| 4.4.6 ประสิทธิภาพและ Unburned carbon..... | 43 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... | 44 |
| 5.1 สรุปผล..... | 44 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 45 |
| ภาคผนวก ก..... | 46 |
| ภาคผนวก ข..... | 51 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 54 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.1 | ผักตบชวา..... | 4 |
| 2.2 | แก๊ส..... | 5 |
| 2.3 | ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคทรายกับผลต่างความหนาแน่นของแข็งกับ ความหนาแน่นอากาศ..... | 6 |
| 2.4 | ลักษณะการไหลของของแข็งแบบต่างๆ ภายในเตา..... | 7 |
| 2.5 | เตาเผาแบบ Bubbling fluidized bed combustor..... | 13 |
| 2.6 | เตาเผาแบบ Vortexing fluidized bed combustor..... | 14 |
| 2.7 | เตาเผาแบบ Conical fluidized bed combustor | 16 |
| 2.8 | เตาเผาแบบ Circulating fluidized bed combustor..... | 17 |
| 2.9 | กราฟแสดงค่าความเข้มข้นของ CO และ NO เมื่อเผาไหม้แก๊สที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% | 18 |
| 2.10 | กราฟแสดงค่าความเข้มข้นของ CO และ NO เมื่อเผาไหม้แก๊สที่ค่าอากาศส่วนเกินต่างๆที่ อัตราการป้อนชีวมวล 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง..... | 19 |
| 2.11 | แสดงค่าความสูงของเตาที่มีผลต่อการลดลงของสารพิษ CO และ C _x H _y | 20 |
| 2.12 | แสดงค่าความสูงของเตาที่มีผลต่อการลดลงของสารพิษ NO..... | 20 |
| 2.13 | แสดงค่าอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการลดลงของก๊าซ CO และ C _x H _y | 20 |
| 2.14 | แสดงค่าอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการลดลงของก๊าซ NO..... | 21 |
| 2.15 | แสดงประสิทธิภาพของเตาและอุณหภูมิที่อัตราการป้อนแก๊สที่ระดับต่างๆและและอากาศ ส่วนเกิน..... | 22 |
| 2.16 | แสดงการกระจายอุณหภูมิและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ภายในเตาเผา แบบวอร์เทค-ฟลูอิดไดซ์เบด..... | 22 |
| 2.17 | แสดงประสิทธิภาพเตาต่อค่าอากาศส่วนเกิน..... | 23 |
| 2.18 | แสดงก๊าซที่เกิดขึ้นต่อปริมาณอากาศส่วนเกินและประสิทธิภาพของเตา..... | 24 |
| 2.19 | แสดงปริมาณก๊าซเผาไหม้ที่ความสูงระดับต่างๆของเตาเผา VFBC..... | 24 |
| 2.20 | ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ทางออกของไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวัน โดยใช้ (ก) ชี้อย่างพาราและ (ข) ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหุติยภูมิที่สภาวะอัตราส่วน พลังงานเชื้อเพลิงหุติยภูมิและปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ..... | 25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|---|----|
| 2.21 | ความเข้มข้นของก๊าซ NO ที่ทางออกของไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ (ก) ซีลี้อยไม้ยางพาราและ (ข) ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหุติยภูมิที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงหุติยภูมิและปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ..... | 25 |
| 3.1 | เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน..... | 27 |
| 3.2 | พัดลม..... | 28 |
| 3.3 | หัวกระจายลม..... | 28 |
| 3.4 | หัวเผา..... | 29 |
| 3.5 | เครื่องย่อยผักตบชวา..... | 29 |
| 3.6 | ทรายขนาด 600-850 μm | 30 |
| 3.7 | U-tube Manometer..... | 30 |
| 3.8 | เครื่องวัดมลพิษ Testo 350XL..... | 31 |
| 3.9 | เทอร์โมคัปเปิล..... | 31 |
| 3.10 | ผักตบชวา..... | 32 |
| 3.11 | แกลบ..... | 32 |
| 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผักตบชวากับความถี่กระแสไฟฟ้า..... | 36 |
| 4.2 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผักตบชวาผสมแกลกับความถี่กระแสไฟฟ้า..... | 37 |
| 4.3 | เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผักตบชวาที่ลดลงเทียบกับอุณหภูมิ..... | 37 |
| 4.4 | เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแกลที่ลดลงเทียบกับอุณหภูมิ..... | 38 |
| 4.5 | แสดงอุณหภูมิภายในเตาเผาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80%..... | 39 |
| 4.6 | แสดงปริมาณออกซิเจนภายในเตาเผาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80%..... | 39 |
| 4.7 | แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในเตาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80%..... | 40 |
| 4.8 | แสดงปริมาณไนตริกออกไซด์ภายในเตาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80%..... | 41 |
| 4.9 | แสดงการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน..... | 42 |
| 4.10 | แสดงการปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน..... | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 กลุ่มของอนุภาคตาม Geldart's classification of powders..... | 7 |
| 2.2 แสดงการปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวย เมื่อเผาเปลือกปาล์มน้ำมันที่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศส่วนเกินที่ระดับต่างๆ... | 21 |
| 3.1 ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย..... | 33 |
| 3.2 ตารางแผนการทดลอง..... | 34 |
| 4.1 ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิง (As-received basis)..... | 35 |
| 4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่กระแสไฟฟ้าต่อปริมาณฝักตบชวา..... | 35 |
| 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อปริมาณฝักตบชวามผสม..... | 36 |
| 4.4 ตารางแสดงประสิทธิภาพเตาและ Unburned Carbon จากการเผาไหม้ในเตา SFBC..... | 43 |
| ภาคผนวก ก-1 แสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์ Proximate analysis..... | 49 |
| ภาคผนวก ก-2 แสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์ Ultimate analysis..... | 50 |
| ภาคผนวก ข-1 แสดงข้อมูลก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา..... | 51 |
| ภาคผนวก ข-2 แสดงข้อมูลก๊าซ NO ที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา..... | 51 |
| ภาคผนวก ข-3 แสดงข้อมูลก๊าซ O ₂ ที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา..... | 52 |
| ภาคผนวก ข-4 แสดงข้อมูลมลพิษ CO และ NO ที่ปล่อยออกจากเตาเผา..... | 52 |
| ภาคผนวก ข-5 แสดงข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตา..... | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันผักตบชวามีการแพร่ระบาดอย่างรุนแรง ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำต่างๆ ทั่วประเทศ ก่อให้เกิดผลเสียต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม [1] ปัจจุบันเราพบผักตบชวาในแหล่งน้ำเกือบทุกที่ ซึ่งการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ยังไม่แพร่หลายมากนัก ส่วนมากมักนิยมนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ วัสดุ จักสาน เป็นต้น ซึ่งผักตบชวานั้นเป็นพืชที่ให้โทษอยู่มากเพราะผักตบชวาเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วซึ่งการลดจำนวนผักตบชวาโดยการนำไปใช้ประโยชน์นั้น ยังไม่สามารถลดการแพร่กระจายของผักตบชวาได้ดีพอ จึงต้องหันมาจำกัดซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ผักตบชวายังส่งผลเสียต่อการท่องเที่ยวอีกด้วยเพราะมีจำนวนมากจนกีดขวางการจราจรทางน้ำ เมื่อผักตบชวาทายยังส่งกลิ่นเหม็นเป็นอย่างมากเป็นสาเหตุให้แหล่งท่องเที่ยวทางน้ำนั้นไม่สวยงาม เป็นเหตุให้มีจำนวนนักท่องเที่ยวลดลง อีกทั้งผักตบชวายังทำให้การไหลของน้ำไหลช้าลงถึง 40% และส่วนต่างๆ ของผักตบชวาที่จมลงใต้น้ำก่อให้เกิดอุปสรรคกับการระบายน้ำของฝาย หรือประตูระบายน้ำ ทำให้ทางเดินของน้ำเกิดการตันขึ้นเร็วกว่าปกติ ทำให้เกิดน้ำท่วมในหน้าน้ำเนื่องจากไม่สามารถระบายน้ำได้ทัน ผักตบชวาที่ขึ้นอย่างหนาแน่นเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของปลาและการจับปลาของประมงน้ำจืด ผักตบชวาไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อขยายพันธุ์ของปลาเท่านั้น แต่ยังทำให้ปลาที่จับได้มีขนาดเล็กลงด้วยและพื้นน้ำที่มีผักตบชวาขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นและน้ำไม่มีการไหล จะมีปลาหรือสัตว์น้ำอาศัยอยู่น้อยกว่าปกติ และเมื่อแหล่งน้ำมีผักตบชวาขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นทำให้เป็นที่อาศัยของสัตว์ร้าย เช่น งูพิษ, หู ซึ่งเป็นอันตรายและเป็นแหล่งแพร่เชื้อต่อราษฎร เมื่อผักตบชวาลอยไปติดเรือแพ หรือทำน้ำ ในการพัฒนาแหล่งน้ำโดยการใช้แรงงานดึงขึ้นจากน้ำ และผักตบชวายังก่อโทษอื่นๆ อีกมากมายทำให้ผักตบชวาเป็นพืชที่ให้โทษมากกว่าประโยชน์

ในปัจจุบันการใช้พลังงานภายในประเทศมีอัตราเพิ่มมากขึ้นทุกปี [3] จนพลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากร ซึ่งในปี 2556 มีการใช้พลังงานมูลค่า 2.13 ล้านล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2555 ร้อยละ 0.9 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าพลังงานที่นำเข้ามาจากต่างประเทศสูงถึง 1.42 ล้านล้านบาท แต่เนื่องจากหลายทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำเตาฟลูอิดไดซ์เบดชนิดต่างๆ มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นเตาที่มีประสิทธิภาพสูง [4] (ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์) จึงทำให้เราใช้เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้อย่างคุ้มค่ากับที่เราเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อชีวมวลเพื่อมาผลิตพลังงาน

ดังนั้นในการศึกษานี้เรานำผักตบชวามาทดลอง แต่จากการทดลองการเผาผักตบชวาในเตา Conical SFBC เบื้องต้นได้ค่าอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิที่ต่ำ ทำให้เตาตัวระหว่างการเผา จึงนำแกลบซึ่งเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูง มาผสมกับผักตบชวาเพื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิที่เผาในเตา Conical SFBC โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาและแกลบ คือ 1 : 1 เพื่อนำมาศึกษาปริมาณก๊าซ CO , NO ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเตาเผา และทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนคงเหลือจากการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวนเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตา โดยการทดลองได้มีการปรับค่าอัตราส่วนของอากาศส่วนเกิน (Excess air) เพื่อหาค่าความแตกต่างของปริมาณก๊าซ NO, CO, O₂ ที่เกิดในเตาระหว่างเผาไหม้ ปริมาณมลพิษที่ออกจากเตา และค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษามลพิษ CO, NO ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ชีวมวลภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน
2. เพื่อศึกษาปริมาณของคาร์บอนที่หลงเหลือในเชื้อเพลิงจากการเผาชีวมวลภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. การป้อนชีวมวล 55 kg/hr
2. ใช้ทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600-850 μm และมีความสูงของทรายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด 20 cm โดยวัดจากตำแหน่งหัวกระจายลม
3. กำหนดอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (Excess air) อยู่ที่ 20-100 เปอร์เซ็นต์
4. ใช้หัวกระจายลมแบบ annular spiral distributor โดยทำมุม 76 องศา จากแนวตั้ง ความชันชีวมวล 10-15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถนำผักตบชวามาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดจำนวนวัชพืชในแม่น้ำลำคลองซึ่งทำให้แม่น้ำลำคลองสะอาดขึ้นและยังลดปัญหาในการระบายน้ำอีกด้วย
2. เพิ่มทางเลือกพลังงานชีวมวล เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานชีวมวลชนิดอื่นๆ



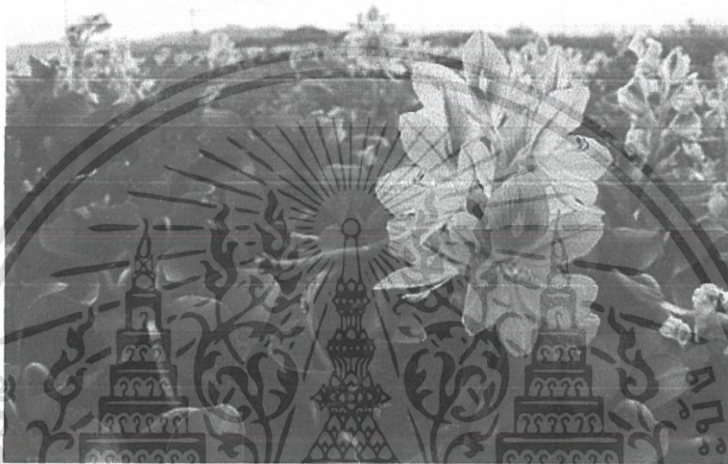
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

2.1.1 ผักตบชวา [5]



รูปที่ 2.1 ผักตบชวา

ภาครัฐบาลและเอกชนพยายามหาวิธีการกำจัดผักตบชวาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ไม่ค่อยได้ผลนัก จึงได้หาแนวทางในการนำผักตบชวามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็สามารถนำมาใช้ได้หลายลักษณะ เช่น เป็นอาหารสัตว์ ใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ดฟาง เพาะชำต้นไม้ ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้ผลิตปุ๋ยจำหน่ายได้ทั้งตลาดท้องถิ่น ตลาดกลาง หรือแม้แต่ตลาดต่างประเทศ ทำให้สามารถเปลี่ยนวัชพืชที่ไม่มีคุณค่าให้เป็นพืชเศรษฐกิจ สร้างการกระจายรายได้สู่ประชาชนในชนบทเป็นอย่างดี และเป็นการช่วยลดมลภาวะทางน้ำอีกทางหนึ่งด้วย

การขยายพันธุ์ [1,5] : ผักตบชวา 1 ต้น สามารถให้เมล็ดได้ถึง 5,000 เมล็ด เมล็ดผักตบชวาเมื่ออยู่ในแหล่งน้ำจะมีชีวิตได้นานถึง 15 ปี ผักตบชวาสามารถขยายพันธุ์ได้ด้วยการแตกหน่อ ผักตบชวา 2 ต้น สามารถแตกใบและเจริญเติบโตเป็นต้นได้ถึง 30 ต้น ภายในเวลา 20 วัน หรือเพิ่มน้ำหนักขึ้น 1 เท่าตัว ภายใน 10 วัน สามารถขยายตัวครอบคลุมผิวน้ำได้อัตราร้อยละ 8 ต่อวัน ถ้าเริ่มปล่อยผักตบชวาในแหล่งน้ำเพียง 10 ต้นจะสามารถแพร่กระจายเพิ่มปริมาณเป็น 1 ล้านต้น ภายในระยะเวลา 1 ปี

ผลกระทบ : การแพร่กระจายของผักตบชวาในแหล่งน้ำและแม่น้ำต่างๆ ทำให้เกิดผลเสียทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ด้านชลประทาน ฝักตบขวาทำให้การพัฒนาแหล่งน้ำไม่ได้ผล เนื่องจากทำให้อัตราการไหลของน้ำลดลงประมาณ 40% ชัดขวางการระบายน้ำ ทำให้เกิดการตื้นเขินของแหล่งน้ำต้องขุดลอกบ่อย และประการสำคัญคือ ฝักตบขวาทำให้การระเหยน้ำเพิ่มขึ้นถึง 3 - 5 เท่า ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ฝักตบขวาสามารถระเหยน้ำได้สูงถึง 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถ้าคิดเป็นพื้นที่ทั่วประเทศ จะสูญเสียน้ำประมาณ 16,000 ล้านลูกบาศก์เมตร

2. ด้านการผลิตไฟฟ้า ฝักตบขวาจะลดอายุการใช้งานของเขื่อน เนื่องจากการตกตะกอนของดินเป็นสาเหตุที่ทำให้เขื่อนเกิดการตื้นเขินจากการทับถมกันของตะกอนดิน นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณน้ำลดลงจากการระเหยน้ำของฝักตบขวา

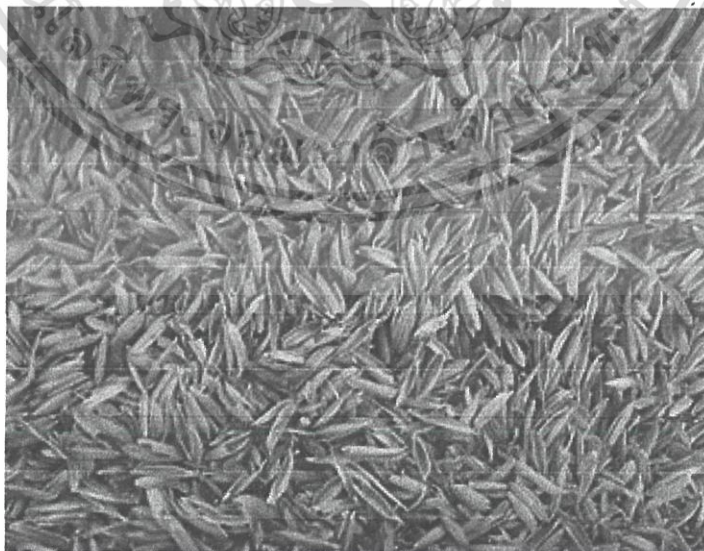
2.1.2 แกลบ [6]

แกลบ ถือเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกซึ่งทำให้เกิดเศษของเปลือกข้าวเหลือออกมา ลักษณะทั่วไป : สีเหลืองทอง สีเหลืองอ่อน สีน้ำตาลแดงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว

ส่วนประกอบทางเคมี : เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า ซึ่งในซีเถ้ามีส่วนประกอบของซิลิกาเป็นจำนวนมาก

ประโยชน์ของแกลบ :

- ด้านการเกษตร ใช้ผสมเพื่อปรับสภาพดิน ปุ๋ยหมัก กันความชื้นในคอกสัตว์ เป็นต้น
- ด้านการก่อสร้าง เป็นส่วนผสมในการทำอิฐ เป็นส่วนผสมการผลิตซีเมนต์ เป็นต้น
- ด้านพลังงานและอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิง ทำแท่งถ่านอัดซีเถ้าแกลบ เป็นต้น

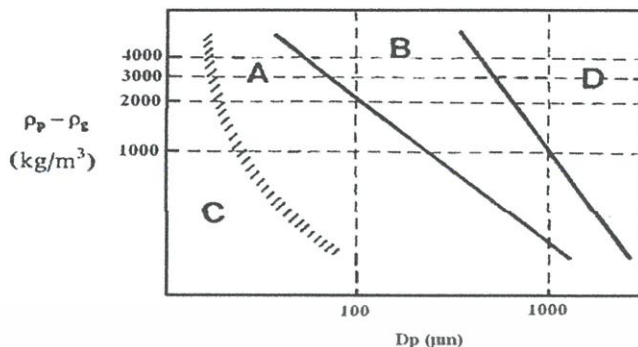


รูปที่ 2.2 แกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เบด

2.2.1 การแบ่งกลุ่มอนุภาคของเบด



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคทรายกับผลต่างความหนาแน่นของแข็งกับความหนาแน่นอากาศ [7]

ในการจัดหมวดหมู่อนุภาคของ Geldart [7] สามารถเรียงตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคได้แตกต่างกัน 4 กลุ่ม ดังที่แสดงตามรูปแผนผังการจัดหมวดหมู่ของ Geldart สำหรับ ฟลูอิดไดซ์เซชัน (Fluidization) ในรูปที่ 2.3

กลุ่ม C เป็นกลุ่มที่อนุภาคมีการยึดเกาะได้ดีและมีความละเอียดมากที่สุด โดยปกติอนุภาคในกลุ่มนี้จะเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันได้ยากเพราะแรงยึดเกาะของอนุภาคมีค่ามากกว่าแรงดันของก๊าซของไหล อย่างไรก็ตามก๊าซของไหลก็ยังสามารถหาช่องว่างที่จะผ่านออกไปได้โดยจะมีรูปแบบที่ไม่แน่นอนในส่วนที่วัสดุเบดมีการยึดเกาะต่ำ

กลุ่ม A อนุภาคที่มีขนาดเล็กหรืออนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำ ($\leq 1400 \text{ kg/m}^3$) ซึ่งเป็นกลุ่มที่อากาศสามารถผ่านอนุภาคได้ อนุภาคของแข็งนี้สามารถทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันง่ายที่ความเร็วของก๊าซที่ใช้เป็นของไหลต่ำ อนุภาคของเบดจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เสมือนของไหลแบบราบเรียบ (Smooth Fluidization) ที่ความเร็วก๊าซสูงกว่าความเร็วต่ำสุด ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบฟองอากาศ (Minimum Bubbling) วัสดุเบดจะเปลี่ยนเป็นช่วงของการเคลื่อนที่แบบฟองอากาศ (Bubbling mode)

กลุ่ม B เป็นกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายกับทราย (Sandlike particles) โดยปกติแล้วในกลุ่มนี้จะใช้เป็นวัสดุเบดในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบฟองอากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40-500 μm และความหนาแน่นของอนุภาคอยู่ระหว่าง 1400-4000 kg/m^3 อนุภาคในกลุ่มนี้ จะเคลื่อนที่ได้ดีในรูปแบบฟองอากาศ (Bubbling action)

กลุ่ม D อนุภาคจะมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นมาก สำหรับกลุ่มนี้ฟองอากาศจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่ากลุ่มอื่นและเกิดช่องว่างที่สามารถทำให้ก๊าซของไหลพุ่งผ่านขึ้นมาได้ง่าย (Spouting fluidization) ซึ่งสำหรับวัสดุเบดที่ค่อนข้างเหนียวก็สามารถที่จะเกิดการฟลูอิดไดซ์เซชัน (Fluidization) ได้แต่จะเกิดแบบไม่แน่นอนเนื่องมาจากก๊าซของไหลที่ไม่สม่ำเสมอ

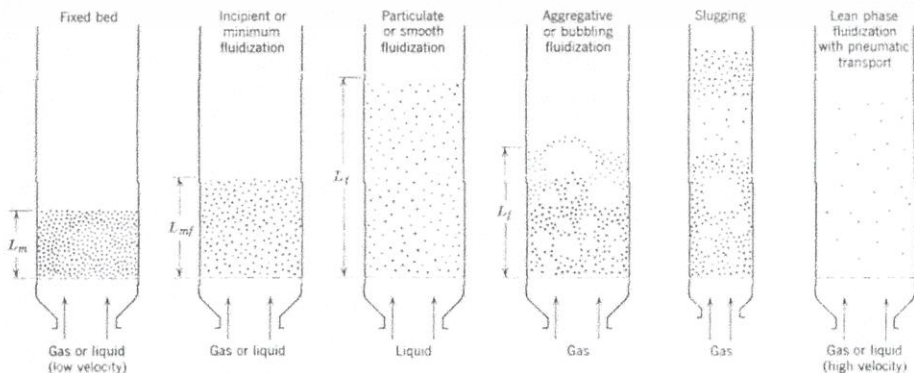
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 กลุ่มของอนุภาคตาม Geldart's classification of powders

| คุณสมบัติ \ Group | Group C | Group A | Group B | Group D |
|---------------------------------------|---|--|---|---------------------------|
| ประเภทของแข็ง | แป้ง, ซีเมนต์ | ของแข็งที่ตัวเร่งปฏิกิริยา | ทราย | กรวด |
| พฤติกรรมที่เกิดขึ้น | ยากที่จะเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน | เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการไหลที่ไม่ใช่การเกิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบพองอากาศ | เริ่มการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันต่ำสุดที่ U_{mf} | เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันได้ช้า |
| การขยายตัวของวัสดุเบด | ต่ำ เนื่องจากไม่มีช่องว่างอากาศ | สูง | ปานกลาง | ต่ำ |
| อัตราการใช้อากาศที่ต้องให้กับวัสดุเบด | เริ่มต้นมีอัตราความเร็วที่สูง จากนั้นเป็นเอ็กโพเนนเชียล | ต่ำ, เชิงเส้น | สูง | สูง |

2.3 ฟลูอิดไดซ์เบด [8]

โดยทั่วไปสารตัวกลางนำความร้อนหรือเบด (Bed) ในฟลูอิดไดซ์เซชัน (Fluidization) เริ่มที่ตำแหน่งคงที่หรือเบดนิ่ง (Fix bed) ของอนุภาคของแข็งใช้เป็นวัสดุตัวกลางนำความร้อนในระบบฟลูอิดไดซ์เซชันจากรูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของเบดนิ่ง, เบดที่เริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (Minimum fluidization) เบดที่เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันแบบราบเรียบ (Smooth fluidization) และเบดที่เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันแบบพองอากาศ (Bubbling fluidization) เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของไหลเพื่อหาค่าความเร็วน้อยสุดของฟลูอิดไดซ์เซชัน อนุภาคของสารตัวกลางนำความร้อนหรือเบดจะเริ่มเคลื่อนที่เป็นชั้นและขยายภายในเตา ณ จุดนี้



รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลของของแข็งแบบต่างๆ ภายในเตา [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคของของแข็งทั้งหมดจะลอยตัวเกิดการไหลเปรียบเสมือนของไหล ในขณะที่ตัวกลางนำความร้อนหรือเบดเริ่มลอยตัวสูงขึ้นเป็นระยะความสูงของสารตัวกลางนำความร้อนเบดที่เป็นฟลูอิดไดซ์เซชันต่ำสุดในการขยายตัวของสารตัวกลางนำความร้อนหรือเบดนั้นจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างน้ำหนักของอนุภาคของแข็งและแรงเฉื่อยโดยเพิ่มการเคลื่อนที่ของก๊าซให้สมดุลในขณะที่อนุภาคของของแข็งบางส่วนเปลี่ยนแปลงเป็นสภาวะของไหล

ระบบของของแข็งซึ่งเคลื่อนที่เสมือนของไหล ผลของการเพิ่มอัตราการไหลให้มีค่าความเร็วมากกว่าค่าความเร็วเบดมีการเคลื่อนที่แบบฟลูอิดไดซ์เซชันต่ำสุดซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและขยายตัวของวัตถุของสารตัวกลางนำความร้อนภายใต้สภาวะปกตินี้จะสังเกตเห็นฟองอากาศมีขนาดสม่ำเสมอ (Heterogeneity) สำหรับระบบของแข็งที่เคลื่อนที่เสมือนก๊าซพฤติกรรมของสารตัวกลางนำความร้อนหรือเบด (Bed) จะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลมากกว่า เบดที่เป็นฟลูอิดไดซ์เซชันต่ำสุด, เบดที่มีการเคลื่อนที่คงตัวมากและเป็นช่องการไหล (Large instabilities) เบดที่มีการเคลื่อนที่แบบฟองอากาศ (Bubbling and channeling) ของการสังเกตก๊าซที่อัตราการไหลมากกว่า การเคลื่อนที่ของสารตัวกลางนำความร้อนจะรุนแรงมากและมีพลังงานงานมาก สิ่งที่เพิ่มคือ สารตัวกลางนำความร้อนหรือเบด (Bed) ไม่เกิดการขยายตัวมากกว่าปริมาณเบดที่เป็นฟลูอิดไดซ์เซชันต่ำสุดภายใต้ลักษณะของสารตัวกลางนำความร้อนหรือเบดแบบนี้เรียกว่า การไหลไปรวมกัน (Aggregative)

ก๊าซฟลูอิดไดซ์เซชันเป็นการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด 2 สถานะ ระหว่างของไหลที่เป็นก๊าซกับของแข็งดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อเบดวางตัวบนตะแกรงหรือตัวกระจายก๊าซและมีก๊าซเคลื่อนที่ผ่านขึ้นมาซึ่งความเร็วที่เพิ่มขึ้นและอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ที่เกิดอธิบายได้ดังนี้

2.3.1 เบดนิ่ง (Fixed bed)

เมื่อก๊าซไหลผ่านเบดขึ้นมาด้วยความเร็วต่ำของแข็งที่วางตัวอยู่บนตัวกระจายก๊าซจะวางตัวนิ่งไม่เคลื่อนไหว ก๊าซจะไหลคดเคี้ยวไปตามช่องว่างที่มีอยู่ในเบดเมื่อก๊าซเคลื่อนที่ผ่านเบดที่วางนิ่งจะมีแรงเนื่องจากการไหลของของไหลกระทำต่ออนุภาคของแข็งในทิศทางการไหล เรียกแรงนี้ว่า แรงเสียดทานเนื่องจากการไหล (Draft force) ซึ่งจะก่อให้เกิดความดันตกคร่อม (Pressure drop)

2.3.2 เบดแบบฟองก๊าซ (Bubbling Fluidized bed)

เมื่อความเร็วก๊าซที่เคลื่อนที่ผ่านเบดนิ่งเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วค่าหนึ่งอนุภาคของแข็งจะเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นความเร็วจุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (Minimum fluidization velocity ; u_{mf}) และเรียกเบด ณ จุดนี้ว่า Minimum Fluidized bed ซึ่งเป็นจุดแรกที่อนุภาคของแข็งประพุดตัวคล้ายของไหลสำหรับค่าความดันตกคร่อมเบด ณ จุดนี้มีค่าเท่ากับน้ำหนักของเบด

2.3.3 เบดแบบสลัก (Slugging Bed)

ขนาดของฟองก๊าซจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามความเร็วของก๊าซและความสูงของเบด ถ้าเบด บรรจุอยู่ในหอทดลองซึ่งมีขนาดเล็กหรือแคบและยาวฟองก๊าซที่เกิดขึ้นอาจจะมีขนาดใหญ่เกือบ เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของเบด ในกรณีนี้จะสังเกตเห็นฟองก๊าซเคลื่อนที่ผ่านเบด และแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคของแข็งออกเป็นชั้นๆ เรียกว่า เกิดสลัก และความเร็วของก๊าซที่ทำให้ฟองก๊าซที่ทำให้ฟองก๊าซเริ่มมีขนาดใหญ่เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเบตหรือหอตลอด

2.3.4 เบตแบบปั่นป่วน (Turbulent Bed)

เมื่อความเร็วของก๊าซที่เคลื่อนที่ผ่านเบตแบบฟองก๊าซเพิ่มขึ้นจนมากกว่า u_{mf} เบตจะเกิดการขยายตัวและเมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อยๆ จะเริ่มสังเกตเห็นรูปแบบการสัมผัสของอนุภาคของแข็งกับก๊าซ ซึ่งมีการขยายตัวเปลี่ยนแปลงไปกับฟองก๊าซที่เกิดขึ้นมาการรวมตัวและแตกกระจายออกจากกันอย่างรวดเร็ว (จนดูเหมือนไม่มีฟองก๊าซ) การเคลื่อนไหวภายในเบตเป็นแบบปั่นป่วนลักษณะภายในเบตจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีอนุภาคของแข็งอยู่นานแน่น (Dense phase) และส่วนที่มีอนุภาคของแข็งอย่างเบาบาง (Dilute phase)

สำหรับช่วงในการเปลี่ยนแปลงภาวะจากเบตแบบฟองก๊าซไปเป็นเบตแบบปั่นป่วนนั้นไม่ได้เกิดขึ้นแบบทันทีทันใดที่ความเร็วค่าหนึ่ง แต่จะมีช่วงของความเร็วในการเปลี่ยนสถานะทั้งสองนี้จากผลการวิจัยของนักวิจัยหลายๆ ท่านพบว่า การเปลี่ยนภาวะจากเบตแบบฟองก๊าซไปเป็นเบตแบบปั่นป่วนนั้นจะมีช่วงของการเปลี่ยนโดยเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วขึ้นจนถึงค่าๆ หนึ่ง เบตซึ่งเดิมอยู่ในสภาวะเบตแบบฟองก๊าซนั้นที่บริเวณผิวหน้าของเบตจะเริ่มเปลี่ยนไปเป็นเบตแบบปั่นป่วนซึ่งเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.4 การเกิดฟลูอิดไดเซชัน [9]

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันจะเริ่มเกิดขึ้น ขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระในเบต ซึ่งช่วงที่เม็ดของแข็งอยู่ในสภาวะสมดุลระหว่าง 2 แรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็งคือ แรงที่เกิดขึ้นกับเม็ดของแข็งกับแรงพยุงที่เกิดจากของไหล โดยให้ U แทนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของไหลที่ผ่านเบต และ ΔP แทนความดันตกค่อมเบต จะได้สมการดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L} g_c = 150 \frac{(1 - \epsilon_{mf})^2 \mu_w U_t}{\epsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{(1 - \epsilon_{mf}) \rho_w U_T^2}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s d_p} \quad (2.1)$$

| | | |
|-----|------------|---|
| โดย | d_p | คือเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (m) |
| | L | คือความสูงของเบต (m) |
| | g_c | คือแฟกเตอร์แปลงหน่วย ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{N}\cdot\text{s}^2$) |
| | U | คือความเร็วซูเปอร์ฟิเชียลที่ไหลผ่านเบต (m/s) |
| | ϵ | คือช่องว่างในเบต |
| | μ | คือความหนืดของของไหล (kg/m.s) |
| | ρ | คือความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3) |
| และ | ϕ_s | คือค่าแฟกเตอร์รูปร่างของอนุภาค |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันลดในเบตสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ คือ

$$\Delta PA = W = (AL_{mf})(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_w) \frac{g}{g_c} \quad (2.2)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_w) \frac{g}{g_c} \quad (2.3)$$

โดย ε_{mf} คือช่องว่างในเบตที่เกิดฟลูอิดไอเซชันต่ำสุด

และ ρ_s คือความหนาแน่นของอนุภาค (kg/m)

ในสมการที่ (2.1) เทอมแรกทางขวาคือ การสูญเสียของความหนืด และเทอมที่สองคือ การสูญเสียพลังงานจลน์ ซึ่งสามารถนำมาเขียนตามความสัมพันธ์ใหม่ได้ โดยนำมาประยุกต์ใช้หาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน ได้คือ

$$\frac{1.75(d_p U_{mf} \rho_w)^2}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3 \mu_w} + \frac{150(1 - \varepsilon) d_p U_{mf} \rho_w}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}^2 \mu_w} = \frac{d_p^3 \rho_L (\rho_s - \rho_w)}{\mu_w^2} g \quad (2.4)$$

ในเบตที่ใช้เม็ดของแข็งที่มีขนาดเล็ก จะสามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันได้แล้ว ฉะนั้นความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน (U_{mf}) สามารถเขียนได้คือ

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_s - \rho_w) \varepsilon_{mf}^3}{150(1 - \varepsilon_{mf}) g_c} \quad \text{ที่ช่วง } Re < 20 \quad (2.5)$$

และสำหรับเบตที่ใช้เม็ดของแข็งขนาดใหญ่ต้องใช้ความเร็วที่สูงมากขึ้น เพื่อจะสามารถทำให้เม็ดของแข็งลอยเป็นอิสระได้ ดังนั้นความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันเขียนได้เป็น

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)(\rho_s - \rho_w) \varepsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_w g_c} \quad \text{ที่ช่วง } Re < 100 \quad (2.6)$$

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์หาได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho_s U_{mf} d_t}{\mu} \quad (2.7)$$

โดย d_t คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเผาไหม้

ทฤษฎีการเผาไหม้ (Theory of combustion) [10]

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการรวมกันของออกซิเจนกับเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็วพร้อมๆ กันกับการเกิดความร้อนออกมา ในการเผาไหม้จะไม่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เนื่องจากมีราคาแพงมากและอันตรายในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้อากาศเนื่องจากหาง่ายและราคาถูก

2.5.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้

เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และมีปริมาณธาตุอื่นปนอยู่บ้าง เมื่อนำไปเผาจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังสมการต่อไปนี้



ในการเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้มากมายหลายปฏิกิริยา แต่การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้น ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ ปริมาณอากาศเพียงพอ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการเผาไหม้ และการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

2.5.2 อากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์

ในการเผาไหม้ถ่านหินจะมีค่าปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์สำหรับเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ซึ่งเราจะเรียกว่า ค่าปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎี (V_0 หน่วย m^3/kg) โดยสามารถหาได้จาก

$$V_0 = 0.115(C' + 0.375S'_v) + 0.265H' - 0.0333O' \quad (2.8)$$

เมื่อ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O) และซัลเฟอร์ (S_v) ทั้งหมดใน wt.% as-received basis

2.5.3 อากาศส่วนเกิน [11]

ในกระบวนการเผาไหม้ที่ดีควรมีอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและปริมาณของออกซิเจนที่เหมาะสมตามสมการข้างต้น โดยปริมาณอากาศตามทฤษฎี (Theoretical air) คือ ปริมาณของอากาศที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์จนกระทั่งคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัตินั้น อากาศที่ต้องการในทางทฤษฎีนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปรากฏการณ์ที่เห็นได้ชัดจากการเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นั้นเห็นได้จากการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในไอเสียออกมา เพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จึงต้องมีการใช้ปริมาณอากาศที่มากเกินไปสำหรับการเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นสามารถคำนวณในทางทฤษฎีได้ แต่ในทางปฏิบัติการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ถึงแม้ว่าเราจะจ่ายอากาศเข้าไปตามที่ได้คำนวณไว้แล้วก็ตาม ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าการเผาไหม้สมบูรณ์จะสามารถเกิดขึ้นได้ทำให้ปริมาตรอากาศจริงที่จ่ายเข้าเตาเผา (V_o หน่วย m^3/kg) ควรจะมากกว่าอากาศตามทฤษฎี (V^0 หน่วย m^3/kg) จึงทำให้ได้มาซึ่งค่าอากาศส่วนเกิน (α)

$$\alpha = V_o / V^0 \quad (2.9)$$

หากในก๊าซไอเสียมีสารประกอบของก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้อยู่ เมื่อความเข้มข้นของ CO , O_2 ยังคงอยู่ในภาวะวิเคราะห์ของก๊าซไอเสียแห่งนี้ เราสามารถคำนวณอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่แม่นยำขึ้นได้จาก

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 0.5CO - CH_4)} \quad (2.10)$$

แต่เราศึกษาเพียงการเผาไหม้ชีวมวล จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 0.5CO)} \quad (2.11)$$

และเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$EA = 100(\alpha - 1) \quad (2.12)$$

2.6 เตาฟลูอิดไดซ์เบด

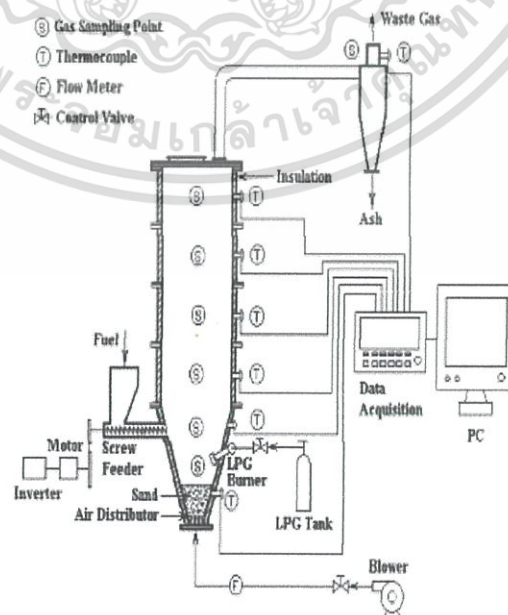
2.6.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเตาฟลูอิดไดซ์เบด

สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น สิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้นอกจากวัตถุดิบเชื้อเพลิงชีวมวลแล้ว ยังจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเผา รวมถึงอุปกรณ์วัดค่าประเมินผลต่างๆ อุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีความเป็นมาตรฐาน เพื่องานวิจัยที่ถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้เตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดยังสามารถแบ่งชนิดได้ ตามรูปแบบของการเคลื่อนที่ของอากาศภายในเตาชนิดต่างๆ ดังนี้

- Bubbling Fluidized bed combustor, BFBC

ในรูป 2.5 เป็นรูปร่างลักษณะเตาเผาที่ได้รับการออกแบบและทำการทดลองศึกษา โดย V.I. Kouprianov และ W. Permchart จะเห็นว่าภายในเตาเผาไหม้ฟลูอิดไดซ์เบด ทรงกรวยแบบ bubbling ประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่ (1) ส่วนทรงกรวยมีความสูง 1 เมตร ทรงกรวยทำมุม 40 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางที่ด้านล่างฐานมีขนาด 0.25 เมตร และ ส่วนที่ (2) ส่วนทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เมตรและมีความสูงของเตา 2 เมตร เตาเผามีการหุ้มฉนวนภายในด้วยซีเมนต์ทนไฟ หัวจ่ายอากาศถูกวางไว้ที่ด้านล่างของส่วนกรวย หัวจ่ายประกอบด้วยหัวกระจายอากาศที่มีลักษณะเป็น bubble cap จำนวน 13 หัว หัวจ่ายอากาศมีขนาด 25 แรงม้า ทำการจ่ายอากาศเข้าไปในท้องเผาไหม้ผ่านหัวกระจายลมใช้เครื่องบ่อนชีวมวลแบบสกรู อัตราการบ่อนชีวมวลถูกควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ภายนอกติดตั้งไซโคลนเก็บขี้เถ้า เก็บ ถ่าน ถ้ำ และทรายอนุภาคเล็กๆ ที่พัดออกจาก Fluidized-bed combustor ที่ใช้เบดขนาด 300-500 μm ใช้ก๊าซ LPG ในการเริ่มจุดเตาเผาไหม้ชีวมวล

การเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ Bubbling [12] นำหลักการของการฟลูอิดไดซ์เบดมาใช้ ที่พื้นของเตาเผาจะมีแผ่นรองรับที่มีลักษณะเป็นรูพรุนไว้เพื่อให้สามารถเป่าอากาศ หรือ ก๊าซผ่านชั้นของเม็ดทรายที่บรรจุอยู่ด้านบนได้ เมื่อปล่อยให้ให้อากาศไหลผ่านชั้นของเม็ดทรายจากด้านล่างแล้ว ขณะที่เม็ดทรายเริ่มลอยตัวเป็นอิสระในเบด ซึ่งช่วงที่เม็ดทรายอยู่ในสภาวะสมดุลระหว่าง 2 แรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดทราย คือ แรงที่เกิดขึ้นกับเม็ดทรายกับแรงพยุงที่เกิดจากของไหล เราเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า ฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)



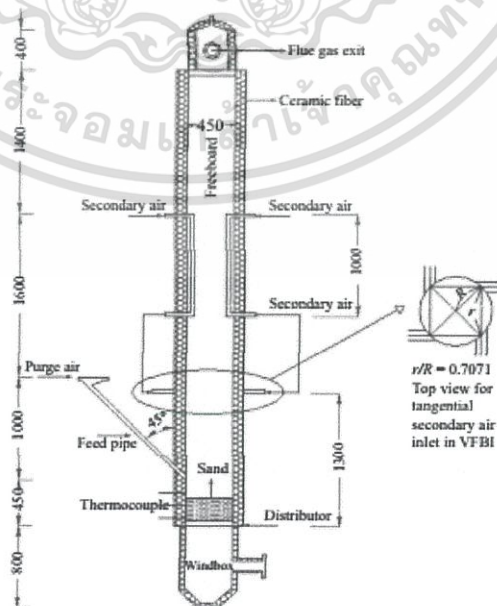
รูปที่ 2.5 เตาเผาแบบ Bubbling Fluidized bed combustor, BFBC [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Vortexing fluidized bed combustor

ในรูปที่ 2.6 [13] เตาเผามีความสูง 5.75 เมตรขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.45 เมตร ครอบด้วยอลูมิเนียมหนา 6 มิลลิเมตร ภายในบุด้วยเส้นใยเซรามิกหนา 150 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสพรุนหนา 6 มิลลิเมตร มีรู 442 รู เส้นผ่าศูนย์กลางรูมีขนาด 2.9 มิลลิเมตร นำมาใช้เป็นหัวจ่ายก๊าซ หัวจ่ายอากาศปฐมภูมิขนาด 15 แรงม้าและหัวจ่ายอากาศทุติยภูมิขนาด 7.5 แรงม้า ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 31.75 มิลลิเมตร และมีความยาว 1.0 เมตร ถูกติดตั้งในเตาเผาที่ระดับ 1.75-2.75 เมตร เหนือเครื่องจ่ายอากาศทุติยภูมิ ติดตั้งสกรูป้อนชีวมวลอยู่เหนือหัวจ่ายอากาศ 0.45 เมตร ก๊าซไอเสียออกจากเตาเผาผ่านไซโคลนเก็บเถ้าและถ่านในแต่ละครั้งสำหรับการกำจัดหรือการวิเคราะห์

เตาเผาไหม้แบบ Vortex-fluidized Bed [14] เป็นเตาเผาที่ถูกรอกแบบมา โดยรวมเอาลักษณะเด่นของเตาเผาแบบไซโคลน คือ การเผาไหม้แบบหมุนวนและการเผาไหม้ในขณะแขวนลอยในกระแสอากาศของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดเข้าด้วยกัน ซึ่งลักษณะการติดตั้งเป็นดังรูปที่ 2.6 ซึ่งภายในเตาเผาไหม้ได้ทำการติดตั้งวงแหวนวอร์เทค (Vortex ring) มีหน้าที่ดักจับอนุภาคเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมด ให้ตกกลับมายังเบดเพื่อเผาไหม้ใหม่ ซึ่งการติดตั้งวงแหวนวอร์เทคจะทำให้เตาเผาไหม้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นแบบไซโคลนอยู่ด้านบนของวงแหวนวอร์เทค มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ส่วนที่สองเป็นห้องเผาไหม้ฟลูอิดไดซ์เบดซึ่งอยู่ใต้วงแหวนวอร์เทค คือ ส่วนของทรงกระบอกและทรงกรวยหงายรวมกัน โดยทรงกรวยหงายจะใช้เป็นส่วนรองรับเบดในการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด



รูปที่ 2.6 เตาเผาแบบ Vortexing fluidized bed [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

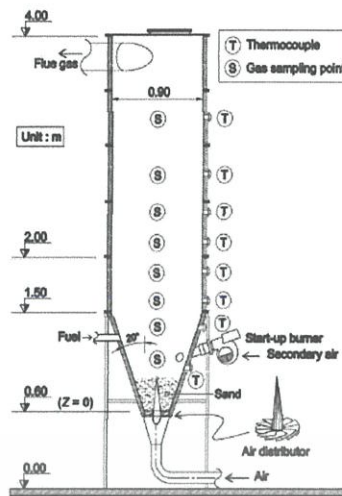
ตามรูปที่ 2.6 สำหรับการจ่ายอากาศเข้าเตาเผา จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ อากาศส่วนที่หนึ่งซึ่งถูกจ่ายในแนวสัมผัสกับผนังเตาพร้อมกับเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งบนวงแหวนวอร์เทค อากาศส่วนที่สองเป็นอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไดเซชันซึ่งถูกจ่ายบริเวณด้านล่างเตาเพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการฟุ้งกระจาย และอากาศส่วนที่สามเป็นส่วนที่ช่วยในการเผาไหม้ ในห้องเผาไหม้ฟลูอิดไดเซเบด (ใต้วงแหวนวอร์เทค) ในลักษณะสัมผัสกับผนังห้องเผาไหม้เช่นเดียวกับอากาศส่วนที่หนึ่ง

เตาเผาไหม้แบบ Vortex-fluidized Bed จะเป็นลักษณะของเตาเผาที่มีวงแหวนสำหรับดักจับอนุภาคที่ยังเผาไหม้ไม่หมดให้ตกลงไปสู่ห้องเผาไหม้อีกครั้ง ซึ่งช่วยเพิ่มระยะเวลาของการเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

- **Conical swirling fluidized bed**

เตาเผาไหม้ฟลูอิดไดเซเบดทรงกรวยแบบหมุนวน [4] ดังรูป 2.7 เตามีความสูงจากพื้นถึงด้านบนสุดของเตา 4 เมตร โดยเตาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ทรงกรวยด้านล่างสูง 0.9 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกรวย 20 เซนติเมตร มุมกรวย 40 องศาจากแนวตั้งทั้งสองด้าน ส่วนที่ 2 เตาทรงกระบอกมีความสูง 2.50 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เมตร ชั้นนอกของเตาบุด้วยเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตร ภายในเตาบุด้วยซีเมนต์ทนไฟหนา 50 มิลลิเมตร ใช้ทรายเป็นเบด สามารถวัดความสูงทรายจากจุดเหนือหัวกระจายลม มีหัวกระจายลมแบบใบพัด 11 ใบพัด แต่ละใบพัดทำมุม 14 องศากับแนวระดับ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 เซนติเมตร ใช้การป้อนชีวมวลแบบสกรูโดยการป้อนสูงเหนือหัวกระจายลม 0.6 เมตร ลักษณะการจ่ายอากาศของเตาชนิดนี้คือจะมีหัวจ่ายลมสองหัวจ่ายเข้าภายในเตา โดยอากาศปฐมภูมิจะถูกจ่ายจากด้านล่างของเตาผ่านหัวกระจายอากาศมีความเร็ว 25 แรงม้า และจะมีการจ่ายอากาศทุติยภูมิจาก burner โดยจ่ายลมเข้าด้านข้างเตาทำมุม 30 องศากับเตาจากแนวบนอยู่สูงเหนือหัวกระจายลม 0.5 เมตร โดยการทำงานของเตาเริ่มจากเปิดหัวจ่ายความร้อนจนเบดมีอุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียสจะทำการหยุดการให้ความร้อนจากหัวจ่ายความร้อน แต่ยังคงเปิดหัวจ่ายนี้ให้จ่ายลมทุติยภูมิต่อไป เพื่อป้องกันทรายภายในเตาเผาพัดเข้าไปในหัวจ่ายความร้อน และทำการจ่ายอากาศจากด้านล่างภายนอกติดตั้งไซโคลนแยกอนุภาคตรงส่วนบนของเตาเผา (ถ่าน ถั่ว และทรายอนุภาคเล็กๆ) ที่พัดออกจากเตา ลมที่จ่ายผ่านหัวจ่ายอากาศจะมีลักษณะหมุนวนผ่านออกจากเตา ทำให้อากาศสามารถทำปฏิกิริยากับชีวมวลภายในเตาได้นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เตาเผาแบบ Conical swirling fluidized bed [4]

- เตาเผาไหม้ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน (Circulating Fluidized Bed, CFB)

เตาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน เป็นเครื่องปฏิกรณ์เคมีรูปแบบหนึ่งซึ่งภายในมีเบดที่ไหลผสมรวมกันดังรูปที่ 2.8 โดยเบดจะมีพฤติกรรมเคลื่อนที่คล้ายกับของไหล นอกจากนี้เครื่องปฏิกรณ์ยังสามารถแยกอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่หรืออนุภาคที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์และกลับเข้าสู่กระบวนการอีกครั้ง [15]

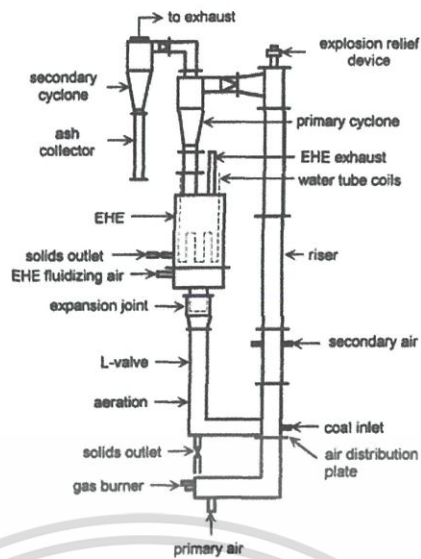
ส่วนประกอบหลักของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

- ท่อไรเซอร์ (Riser)
- ท่อดาวเนอร์ (Downer)
- ท่อป้อนกลับ (Return system)
- ไซโคลน (Cyclone)

หลักการทำงานเตาเผาไหม้ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

ของไหลตัวกลางจะไหลผ่านอนุภาคของแข็งภายในท่อไรเซอร์ ซึ่งเป็นท่อสูงก่อกำเนิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคของแข็งและของไหล เมื่อความเร็วของไหลมีความเหมาะสม อนุภาคของแข็งจะเปลี่ยนพฤติกรรมเคลื่อนที่จนมีลักษณะคล้ายกับของไหล โดยพฤติกรรมนี้เกิดจากสมดุลของแรงจากของไหลที่กระทำต่ออนุภาคของแข็ง เมื่ออนุภาคของแข็งเคลื่อนมาถึงด้านบนสุดของท่อไรเซอร์ อนุภาคจะเคลื่อนออกจากท่อไรเซอร์โดยไหลผ่านไซโคลน ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับทำหน้าที่แยกอนุภาคของแข็งออกจากก๊าซ โดยอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและแรงโน้มถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เตาเผาแบบ Circulating fluidized bed [16]

ข้อดีเตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

1. มีการสัมผัสกันของอนุภาคของแข็งและของไหลสูง ส่งผลให้ช่องว่างอากาศภายในเตาลดลง
2. มีปริมาณอนุภาคของแข็งสูงตลอดแนวความสูงของเตา
3. มีการกระจายตัวของความร้อนสม่ำเสมอทั้งในแนวความสูงและแนวรัศมีของเตา
4. มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานกับของแข็งหลายชนิดหรือของแข็งผสม

ข้อเสียเตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

1. มีความยุ่งยากในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มขึ้นยกตัวอย่างเช่น ไซโคลน หรือท่อป้อนกลับ เป็นต้น
2. มีการลงทุนในส่วนของการก่อสร้างและค่าดำเนินการสูงขึ้น
3. มีการสึกกร่อนของผนังเตา
4. มีการแตกหักหรือการลดขนาดของอนุภาคของแข็งภายในเตาที่สูงขึ้น

เตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน มีจุดเด่นที่สามารถนำอากาศที่เผาไหม้แล้วย้อนกลับมาทำการเผาไหม้ใหม่ได้ ซึ่งทำให้สามารถช่วยให้น้ำเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดกลับมาเผาไหม้อีกครั้ง จึงสามารถช่วยลดการเกิด Unburn Carbon ได้ ทำให้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

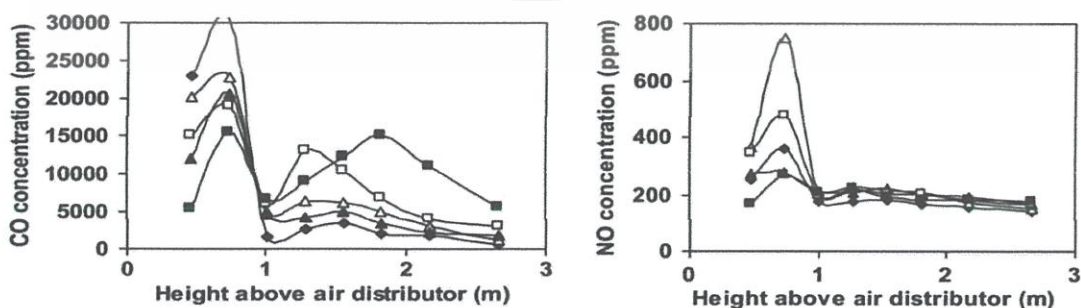
- V.I. Kuprianov et al. (2011). [4] เรื่อง Effects of operating conditions and fuel properties on emission performance and combustion efficiency of a swirling fluidized-bed combustor fired with a biomass fuel ทำการศึกษาความสามารถของเตาเผาไหม้ฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวนและผลของมลพิษที่เกิดขึ้น

โดยเตามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกรวย 20 เซนติเมตร ทำมุมด้านละ 20 องศา ความสูงเตาที่ 2.50 เมตร ภายในเตาบุด้วยซีเมนต์ทนไฟหนา 50 มิลลิเมตร ชั้นนอกบุด้วยเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตร มีหัวกระจายลมแบบใบพัด 11 ใบพัด แต่ละใบพัดทำมุม 14 องศา มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 เซนติเมตร ใช้ทรายขนาด 0.5-0.6 ไมโครเมตร เป็นเบดที่มีความสูง 30 เซนติเมตร ใช้ชีวมวลคือแกลบที่อัตราการป้อน 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง

เมื่อวัดค่าก๊าซจากความชื้นของชีวมวลที่ต่างกันระหว่าง 8.4-30% ทำการวัดค่ามลพิษที่ระดับต่างๆของความสูงของเตาพบว่าค่ามลพิษ CO ในช่วงความสูงเตาที่ระดับ 0 เมตร - 0.8 เมตร ค่า CO อยู่ในระดับที่สูงมาก และเมื่อเข้าสู่ช่วง 0.8 เมตร - 1.0 เมตร ค่า CO ลดลงอย่างมาก ในช่วงที่ 3 ระหว่างความสูง 1.0 เมตร - 1.8 เมตร ก๊าซ CO เริ่มสูงขึ้นอีกครั้ง แต่ก็ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างอากาศและความสูงของเตาที่เพิ่มขึ้น ส่วนก๊าซ NO ในช่วงความสูงเตาที่ระดับ 0 เมตร - 0.8 เมตร ค่า NO อยู่ในระดับที่สูงมาก และเมื่อเข้าสู่ช่วง 0.8 เมตร - 1.0 เมตร ค่า NO ลดลงอย่างมากโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซ CO ในช่วงที่ 3 ระหว่างความสูง 1.0 เมตร - 1.8 เมตร ก๊าซ NO เริ่มลดลงจากการทำปฏิกิริยาแต่เมื่อความสูงของเตาเพิ่มขึ้นค่า NO ก็ค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จากการทำปฏิกิริยาที่น้อยลง จากกราฟเห็นว่า ก๊าซ NO มีค่าน้อยลงถ้าชีวมวลมีความชื้นมาก ดังรูป 2.9

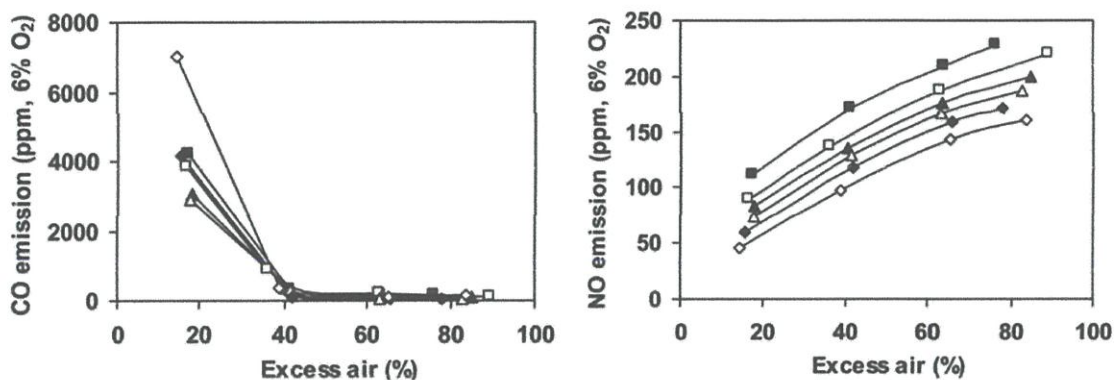
เมื่อทดลองเผาชีวมวลที่ระดับอากาศส่วนเกินต่างๆ และมีอัตราการป้อนชีวมวล 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง พบว่าค่า CO มีค่าลดลง แต่ก๊าซ NO มีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.10

ค่าการปล่อยสารพิษที่อยู่ในช่วงดีที่สุดของการทดลองนี้ อยู่ที่ช่วงความชื้น 35% ที่อากาศส่วนเกิน 40-50% ทำให้ได้มลพิษ CO ต่ำกว่า 350 ppm มลพิษ NO ต่ำกว่า 110 ppm และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงถึง 99.5%



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าความเข้มข้นของ CO และ NO เมื่อเผาไหม้แกลบที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% และกำหนดค่าความชื้นที่ระดับต่างๆ ■ w = 8.4%, □ W= 15%, ▲ W = 20%, △W= 25% และ ◆ W= 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าความเข้มข้นของ CO และ NO เมื่อเผาไหม้แกลบที่ค่าอากาศส่วนเกินต่างๆที่ อัตราการป้อนชีวมวล 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง และกำหนดค่าความชื้นที่ระดับต่างๆ ■ w = 8.4%, □ W = 15%, ▲ W = 20%, △ W = 25% และ ◆ W = 30%

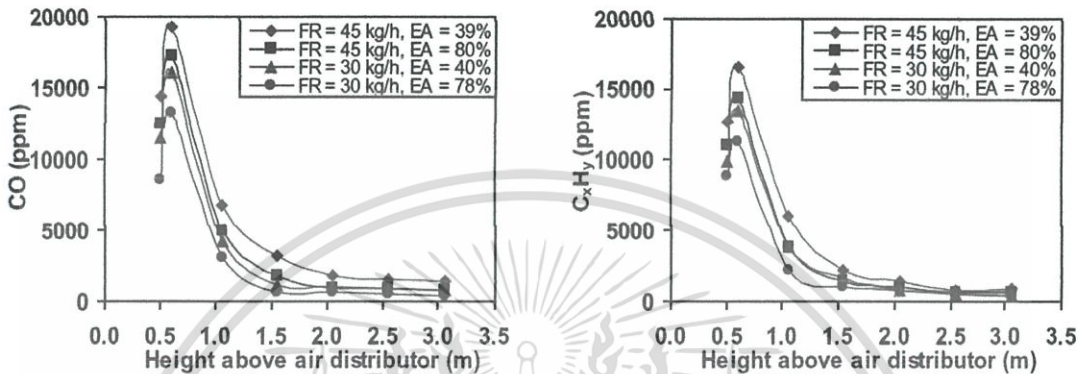
- P. Ninduangdee and V.I. Kuprianov. (2014). [17] เรื่อง Combustion of oil palm shells in a fluidized-bed combustor using dolomite as the bed material to prevent bed agglomeration ทำการศึกษาการเผาไหม้ของเปลือกปาล์มน้ำมันในเตาเผา fluidized bed

ทดลองโดยใช้เตา fluidized-bed ส่วนล่างทรงกรวยสูง 0.9 เมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 เมตรที่ฐานด้านล่าง และส่วนทรงกระบอกสูง 2.5 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เมตร เตาเผาใช้วัสดุเบดถูกวางอยู่บนหัวจ่ายอากาศ 19 ฟองหมวก มีลมกระจายสม่ำเสมออัตราป้อนชีวมวลแบบ สกรู เครื่องเป่าลมขนาด 25 แรงม้าไซโคลนสำหรับจับเขี่ยไถ้ และชุดการเก็บข้อมูลและการรักษา เครื่องเป่าลมจัดส่งอากาศปริมาณที่จำเป็นที่จะเผาไหม้โดยส่งผ่านท่ออากาศเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.1 เมตรเป็นรูปทรงกรวย พร้อมกับพอร์ตเก็บตัวอย่างก๊าซและเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในระดับที่แตกต่าง กันไปตามความสูงของเตาเผาตลอดจนออกจากไซโคลน ขนาดอนุภาคเบด 0.3-0.5 มิลลิเมตร ความสูง ของเบดคงเป็น 30 เซนติเมตร ใช้ชีวมวลคือ เปลือกปาล์มน้ำมัน ชีวมวลมีขนาด 0.1 มิลลิเมตร (มี ลักษณะเหมือนฝุ่น) ถึง 9 มิลลิเมตร มีอัตราการป้อนชีวมวล (45 กิโลกรัม / ชั่วโมง) และลดลงเหลือ (30 กิโลกรัม/ชั่วโมง) อัตราอากาศส่วนเกินได้ควบคุมอยู่ที่ 20% ถึง 80%

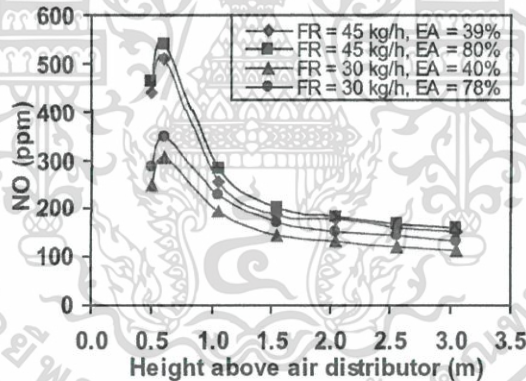
พบว่าก๊าซออกซิเจนมีค่าลดลงตามความสูงของเตาเผา ในส่วนของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ พบว่าก๊าซมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากที่ด้านล่างของเตาเผา แต่ในพื้นที่ความสูงของเตาที่เพิ่มขึ้น พบว่าก๊าซ คาร์บอนมอนนอกไซด์มีค่าค่อยๆ ลดลงตามระยะความสูงของเตาเผาส่วนใหญ่เนื่องมาจากการเกิด ออกซิเดชันของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์โดยก๊าซออกซิเจนและไฮดรอกไซด์ ในส่วนของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนพบว่าก๊าซมีแนวโน้มแสดงผลที่คล้ายกันกับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

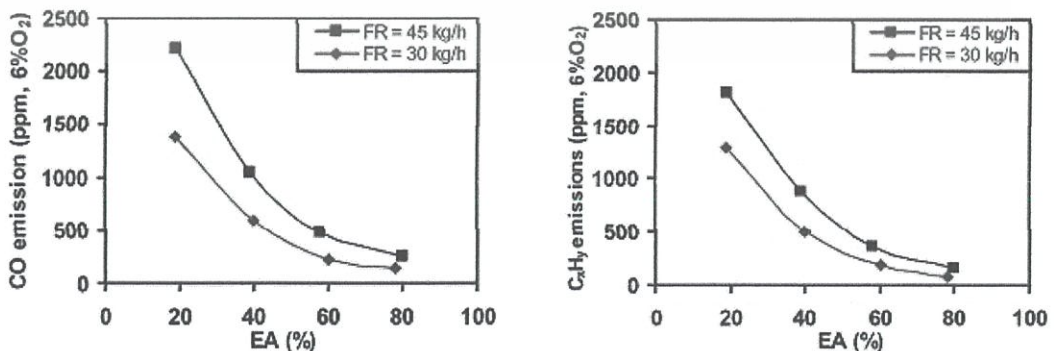
จากรูป 2.12 พบว่าก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีความเข้มข้นของก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในส่วนล่างของเตาเผา โดยทั่วไปในการลดสารระเหยของชีวมวลจะตามมาด้วยออกซิเดชันของไนโตรเจนระเหยกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์อย่างไรก็ตามในพื้นที่ตอนบนของเตาก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าลดลงซึ่งสามารถสังเกตเห็นโดยทั่วไปเนื่องจากก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้แปลงสภาพเป็นก๊าซไนโตรเจนจากการผ่านปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ 2.11 แสดงค่าความสูงของเตาที่มีผลต่อการลดลงของสารพิษ CO และ C_xH_y

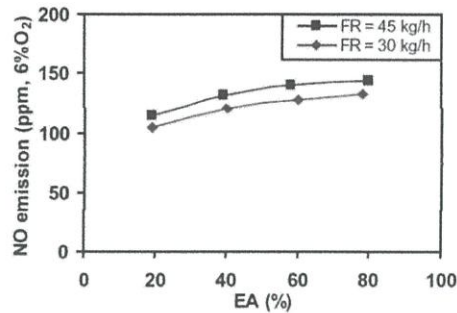


รูปที่ 2.12 แสดงค่าความสูงของเตาที่มีผลต่อการลดลงของสารพิษ NO



รูปที่ 2.13 แสดงค่าอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการลดลงของก๊าซ CO และ C_xH_y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงค่าอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการลดลงของก๊าซ NO

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยจากเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดทรงกรวยมีค่าสูงมาก แต่สามารถควบคุมก๊าซเหล่านี้ได้โดยการเพิ่มอากาศส่วนเกินดังรูปที่ 2.13

แต่ในทางกลับกันการเพิ่มอากาศส่วนเกินทำให้มีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จากเตาเผาเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า อากาศมีผลต่อการก่อตัวของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ดังรูป 2.14

ในตารางที่ 2.2 ค่าสูญเสียความร้อนจะลดลงโดยการเพิ่มปริมาณของอากาศส่วนเกินเป็นผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในแต่ละอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ช่วงการป้อน(สูงสุด)เตาเผามีประสิทธิภาพการเผาไหม้ 98.7-99.2% สามารถทำได้โดยการรักษาอากาศส่วนเกินภายใน 60-80% แต่ที่อัตราการป้อนที่ลดค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ค่อนข้างสูงเนื่องจากค่าของทั้งสอง(ช่วงการป้อนและอากาศส่วนเกิน) ช่วยลดการสูญเสียความร้อนในเตาเผา

ถ้าคำนึงถึงลักษณะการปล่อยก๊าซและประสิทธิภาพของการเผาไหม้อากาศส่วนเกินควรมีค่าประมาณ 60% มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (45 กิโลกรัม/ชั่วโมง) และทำให้ เตาเผาสามารถดำเนินการได้สูงถึง ~99% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในขณะที่มีการควบคุมการปล่อยก๊าซอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ที่ 500 ppm ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์อยู่ที่ 140 ppm และยังคงรักษาระดับการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในระดับที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.2 แสดงการปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดทรงกรวยเมื่อเผาเปลือกปาล์มน้ำมันที่ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศส่วนเกินที่ระดับต่างๆ

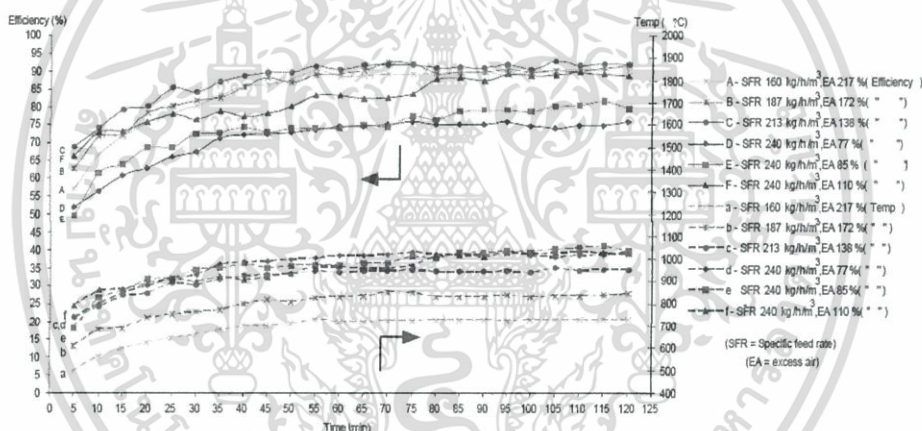
| Excess air (%) | O ₂ at stack (vol.%) | Carbon in fly ash (wt.%) | CO ^a (ppm) | C _x H _y ^a (ppm) | Heat loss (%) due to: | | Combustion efficiency (%) |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| | | | | | unburned carbon | incomplete combustion | |
| Fuel feed rate of 45 kg/h | | | | | | | |
| 19 | 3.8 | 8.76 | 2207 | 1812 | 0.91 | 2.76 | 96.3 |
| 39 | 6.2 | 7.33 | 1040 | 880 | 0.75 | 1.82 | 97.4 |
| 58 | 7.8 | 4.34 | 476 | 361 | 0.43 | 1.00 | 98.7 |
| 80 | 9.4 | 2.17 | 256 | 162 | 0.21 | 0.62 | 99.2 |
| Fuel feed rate of 30 kg/h | | | | | | | |
| 19 | 3.7 | 6.33 | 1377 | 1282 | 0.64 | 1.85 | 97.5 |
| 40 | 6.1 | 5.49 | 590 | 500 | 0.55 | 1.04 | 98.4 |
| 60 | 7.9 | 2.87 | 221 | 185 | 0.28 | 0.37 | 99.4 |
| 78 | 9.2 | 2.07 | 146 | 79 | 0.20 | 0.31 | 99.5 |

^a At the cyclone exit, as corrected to 6% O₂ (on a dry gas basis)

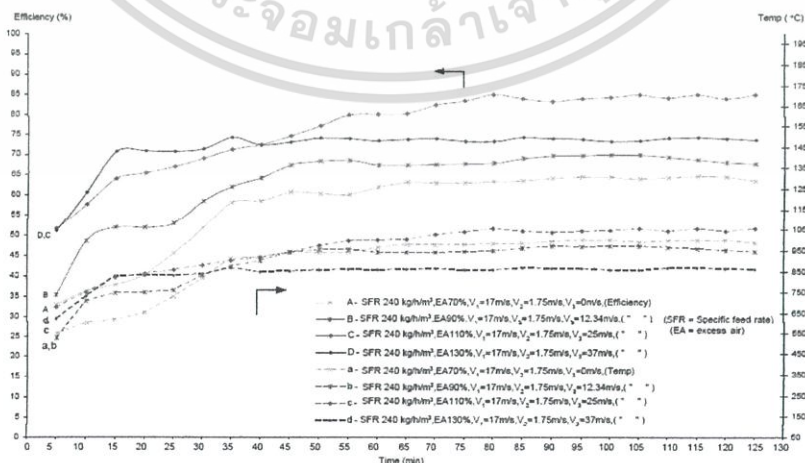
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รุณนิตย์ เมธียนันต์ et al. (2546). [14] เรื่อง การพัฒนาเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไคซ์เบด สำหรับเชื้อเพลิงแกลบทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาไหม้วอร์เทคฟลูอิดไคซ์เบด อัตราส่วนอากาศส่วนเกินและก๊าซเสียที่เกิดขึ้น

ในการทดลองใช้เตาเผาไหม้แบบวอร์เทคฟลูอิดไคซ์เบดมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเผาเท่ากับ 40 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร ใช้ Blower 2 ตัวตัวละ 2.2 กิโลวัตต์ ควบคุมอัตราการป้อนของแกลบโดยใช้ frequency Inverter ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบของ Motor ในการป้อนแกลบใช้อัตราการป้อนแกลบ 240 kg/h/m³ บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งท่อทางออกเตาเผาไหม้วอร์เทคฟลูอิดไคซ์เบดทุก 5 นาทีจนครบ 120 นาทีโดยใช้ Thermocouple ชนิด K และใช้อินดิเคเตอร์ (Indicator) ซึ่งมีความละเอียด ±1° บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่ง Y = 0.35 เมตร, 0.60 เมตร และ 0.85 เมตร ตามลำดับโดยอ้างอิงตำแหน่งความสูงจากแผ่นกระจายลม(Air distributor) กำหนดค่าอากาศส่วนเกินอยู่ที่ = 0.05 , 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95 และ 1.0 เก็บข้อมูลที่ได้จากการเผาไหม้ ทำการติดเตาเผาและอุ่นเตาจนอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ประมาณ 600 C°

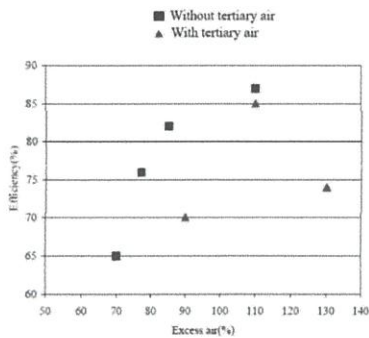


รูปที่ 2.15 แสดงประสิทธิภาพของเตาและอุณหภูมิที่อัตราการป้อนแกลบที่ระดับต่างและและอากาศส่วนเกิน



รูปที่ 2.16 แสดงการกระจายอุณหภูมิและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ภายในเตาเผาแบบวอร์เทค-ฟลูอิดไคซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงประสิทธิภาพเตาต่อค่าอากาศส่วนเกิน

จากการทดลองพบว่า เตาเผาไหม้วอร์เทคฟลูอิดไดซ์เบด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา (η_{th}) ในกรณีที่ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง(SFR) เท่ากับ $240 \text{ kg} / \text{h} / \text{m}^3$ (ดังรูปที่ 2.15) พบว่าค่า η_{th} จะเพิ่มขึ้นไปตามเวลาที่เตาทำงานโดยจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 90 นาทีโดย η_{th} จะมีค่าประมาณ 87%

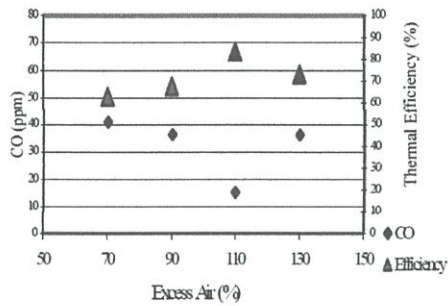
จากรูปที่ 2.15 และ 2.16 พบว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 110% ค่า η_{th} จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 85-87 % โดยมีค่าภาระความร้อนเตาเท่ากับอยู่ในช่วง $0.83-0.84 \text{ MW}_{th} / \text{m}^3$ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศส่วนเกินและ η_{th} ที่การไหลจำเพาะเท่ากับ $240 \text{ kg} / \text{h} / \text{m}^3$

รูปที่ 2.17 จะพบว่าในช่วงแรก η_{th} จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกินและหลังจากปริมาณอากาศส่วนเกินมากกว่า 110% ค่า η_{th} จะลดลงสามารถอธิบายได้ว่าในช่วงแรกที่มีการใช้ปริมาณอากาศเกินน้อยความปั่นป่วน(Turbulent)ที่เกิดจากความเร็วของอากาศภายในเตาไม่มากพอที่จะทำลายชั้นฟิล์มของเถ้าที่ปกคลุมพื้นผิวอนุภาคของแข็งที่ยังเผาไหม้ไม่หมดทำให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ไปทำปฏิกิริยากับธาตุคาร์บอนที่พื้นผิวอนุภาคได้น้อยการเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์

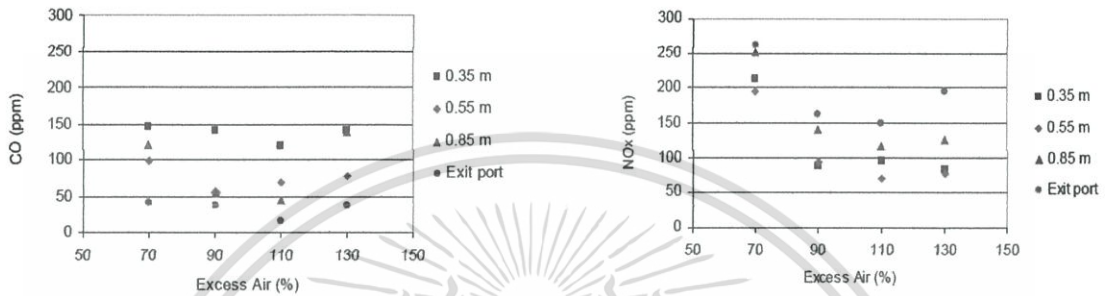
เมื่อมีความเร็วของอากาศเพิ่มมากขึ้นการเผาไหม้ก็จะสมบูรณ์ขึ้นจนกระทั่งได้ประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 85-87% ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 110% และจากนั้นถ้าเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นไปอีกจะทำให้ต้องสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งกับการทำให้ไนโตรเจนในอากาศเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิในเตาเผาผลก็คืออุณหภูมิในเตาจะต่ำลงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ดีพอจึงทำให้ η_{th} ต่ำลง

จากการทดลองพบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอากาศส่วนเกินและประสิทธิภาพของเตาดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยถ้าใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม (EA = 110%) จะทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเตามีค่าสูง ($\eta_{th} = 87\%$) และจะเกิดปริมาณของ CO มีค่าน้อยที่ประสิทธิภาพเตาสูงสุด ปริมาณ CO และค่า NO_x มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 15 ppm และ 118 ppm ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงก๊าซที่เกิดขึ้นต่อปริมาณอากาศส่วนเกินและประสิทธิภาพของเตา



รูปที่ 2.19 แสดงปริมาณก๊าซเผาไหม้ที่ความสูงระดับต่างๆของเตาเผา VFBC

การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซ CO และ NO_x ตามระดับความสูงของเตาแสดงในรูปที่ 2.19 โดยพบว่าปริมาณ NO_x ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์อย่างไรกับความสูงของเตาเฉพาะ CO เท่านั้นที่พบว่าที่ทุกปริมาณอากาศส่วนเกินค่า CO จะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ระดับความสูง 0.35 เมตร เพราะปริมาณอนุภาคที่ยังเผาไหม้ไม่หมดซึ่งมากองรวมกันเป็นเบดที่บริเวณด้านล่างเตามีปริมาณมากเมื่อเทียบกับปริมาณอากาศส่วนที่สองที่จ่ายจากด้านล่างทำให้การเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์

- กษมา ศิริสมบูรณ์และพงษ์ศักดิ์ เหลลาทอง. (2557). [18] เรื่อง การลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์เมื่อเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคการป้อนเชื้อเพลิงเป็นชั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จากการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันด้วยวิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเป็นชั้นโดยใช้ชีเลื่อยนอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณอากาศส่วนเกินและอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงหุติยภูมิต่อพลังงานรวมก๊าซมลพิษภายในเตา

ในการทดลองใช้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยชนิดพองอากาศใช้เชื้อเพลิงหุติยภูมิคือชีเลื่อยไม้ยางพาราและก๊าซ LPG โดยส่วนฐานทรงกรวยขนาดมีความสูง 0.9 เมตร ทำมุม 40° และส่วนทรงกระบอกสูง 2.5 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เมตร วัสดุเบดในการทดลองได้ใช้ทรายที่มีขนาด 300–500 ไมโครเมตร เป็นวัสดุเบดมีความสูง 30 เซนติเมตร

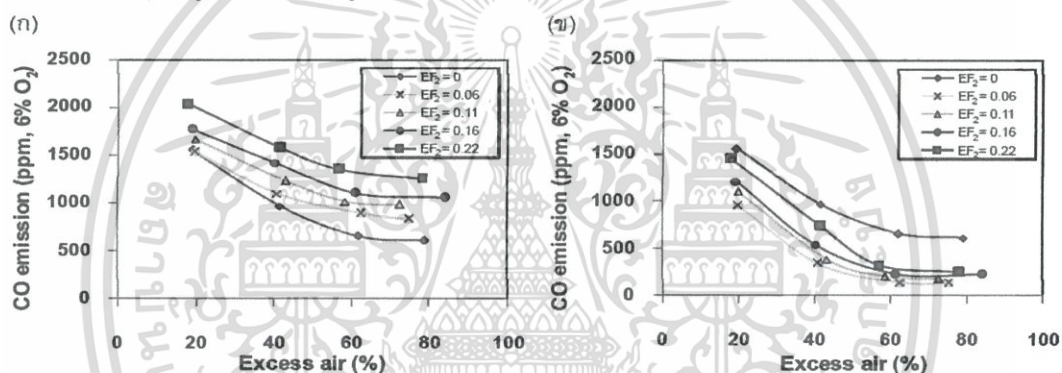
จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ชีเลื่อยไม้ยางพาราและก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหุติยภูมิที่อัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงหุติยภูมิ 0, 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20–80% พบว่าปริมาณก๊าซ CO เมื่อใช้ชีเลื่อยไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงหุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

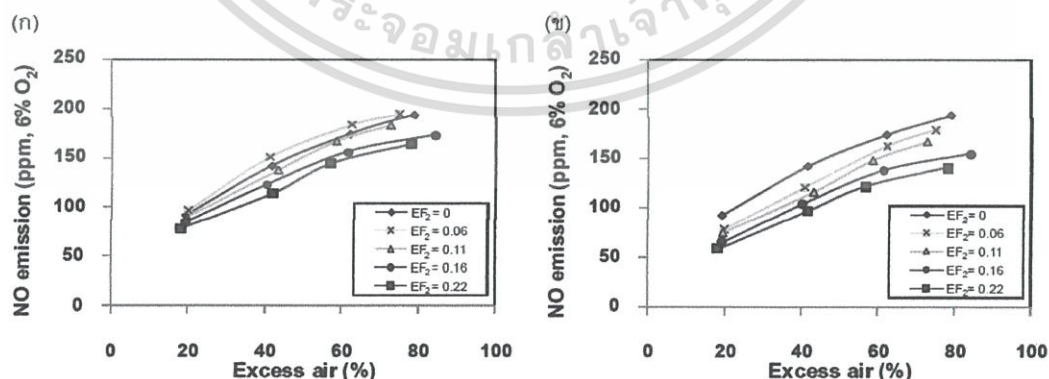
(รูปที่ 2.20 (ก)) จะมีค่าที่สูงกว่าในกรณีที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิ (รูปที่ 2.20 (ข)) ในทุกๆสภาวะการทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซ CO เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกินพบว่าค่า CO มีปริมาณที่ลดลงและจะมีปริมาณที่ต่ำสุดเมื่อใช้อากาศส่วนเกิน 80% เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินนั้นจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นอย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิค่า CO จะมีค่าที่มากขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาที่ระยะสูงขึ้นทำให้มีระยะเวลาในการเผาไหม้ที่ต่ำลงดังรูปที่ 2.20

รูปที่ 2.21 แสดงค่าความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ทางออกไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ (ก) ซีลี้อยไม้ยางพาราและ (ข) ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิ 0, 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20-80% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่าสำหรับกรณีเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้เชื้อเพลิงหัตถุณภูมิซีลี้อยไม้ยางพารา (รูปที่ 2.21 (ก)) มีค่าการปลดปล่อยก๊าซ NO สูงกว่าเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้เชื้อเพลิงหัตถุณภูมิก๊าซ LPG (รูปที่ 2.21 (ข)) ที่สภาวะเดียวกัน



รูปที่ 2.20 ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ทางออกของไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ (ก) ซีลี้อยไม้ยางพาราและ (ข) ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิและปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ



รูปที่ 2.21 ความเข้มข้นของก๊าซ NO ที่ทางออกของไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ (ก) ซีลี้อยไม้ยางพาราและ (ข) ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงหัตถุณภูมิและปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ซีล้อยู่ไม่ยาวพาราเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิสามารถลดค่าก๊าซ NO ได้ดีก็ต่อเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนพลังงานเป็น 0.16 และ 0.22 ผลมาจากอุณหภูมิของค่าอัตราส่วนพลังงานทุติยภูมิดังกล่าวมีค่าต่ำทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และมีการปล่อยก๊าซ CO จำนวนมากซึ่งมีผลต่อการลดค่าก๊าซ NO ของเชื้อเพลิงเนื่องจากปฏิกิริยาที่กล่าวมาข้างต้นในทางกลับกันที่ค่าอัตราส่วนพลังงาน 0.06 และ 0.11 กลับทำให้ค่าการปล่อยก๊าซ NO สูงขึ้น

จากการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินสำหรับการทดลองของทั้ง 2 กรณีดังแสดงในรูปที่ 2.21 พบว่าค่าไนตริกออกไซด์มีปริมาณที่สูงขึ้นเนื่องจากออกซิเจนในอากาศจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของอากาศส่วนเกินส่งผลให้อัตราการเกิดไนตริกออกไซด์ตามกลไก fuel-NO เพิ่มขึ้นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

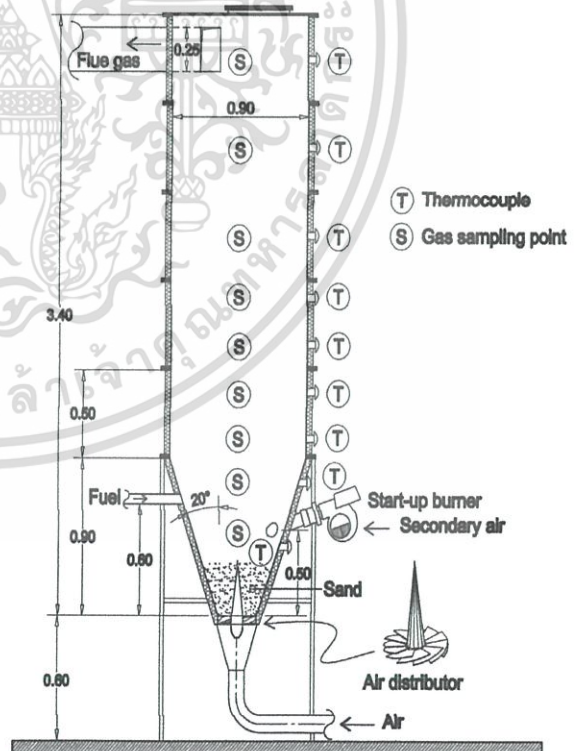
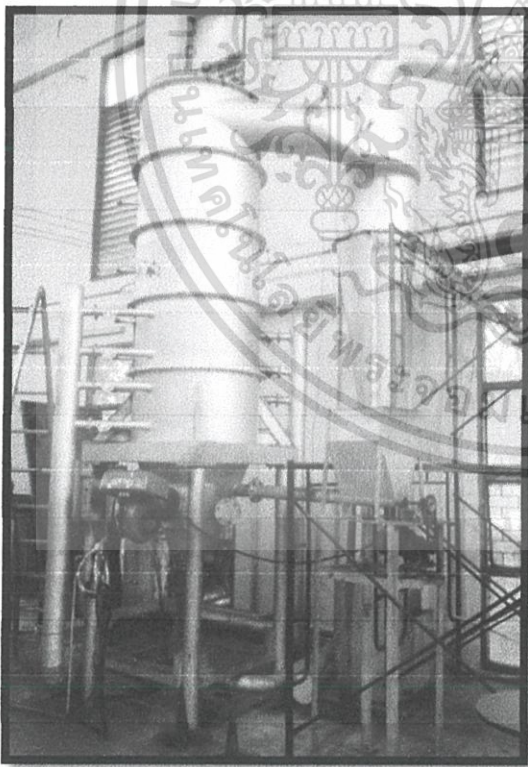
วิธีการดำเนินการวิจัย

สำหรับในการวิจัยเรื่อง “ผักตบชวาแหล่งของการผลิตพลังงานแทนวชิพีโซไรค่าโดยใช้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน” มีรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

3.1.1 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน

รูปที่ 3.1 แสดง เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวนแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 มีลักษณะเป็นหอเผาทรงกระบอกที่มีความสูง 2.5 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เมตร มีฉนวนซีเมนต์ทนไฟหนา 5 เมตร อยู่ที่ผนังเตาและส่วนที่ 2 ฐานเป็นทรงกรวยขนาดความสูง 0.9 เมตร ทำมุมกรวย 40° มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนทรงกรวย 0.9 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างทรงกรวย 0.25 เมตร



รูปที่ 3.1 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 พัดลม (Blowers)

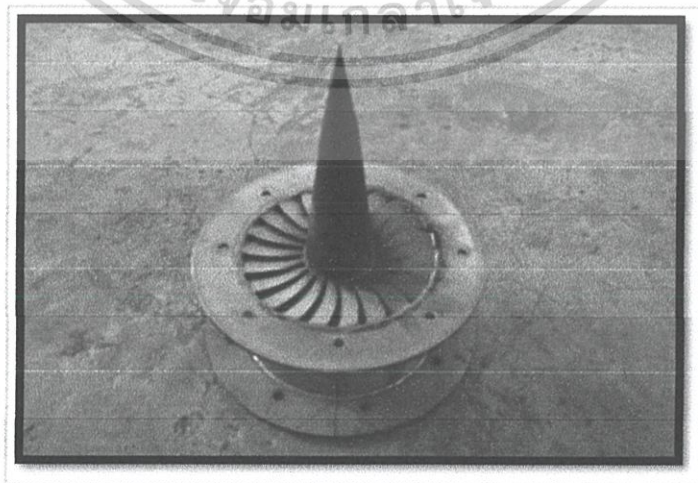
รูปที่ 3.2 แสดง พัดลมจ่ายอากาศปฐุมภูมิ ที่มีขนาดมอเตอร์ขับ 25 แรงม้า สำหรับจ่ายอากาศเข้าเตาเผา

3.1.3 หัวกระจายลม (Distributor)

รูปที่ 3.3 แสดงหัวกระจายลม โดยจะเป็นหัวกระจายลมแบบใบพัด ป้อนอากาศปฐุมภูมิ เข้าสู่เตาเผา โดยใบพัดทำมุม 76 องศา กับแนวตั้ง มีใบพัดจำนวน 22 ใบ



รูปที่ 3.2 พัดลม



รูปที่ 3.3 หัวกระจายลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

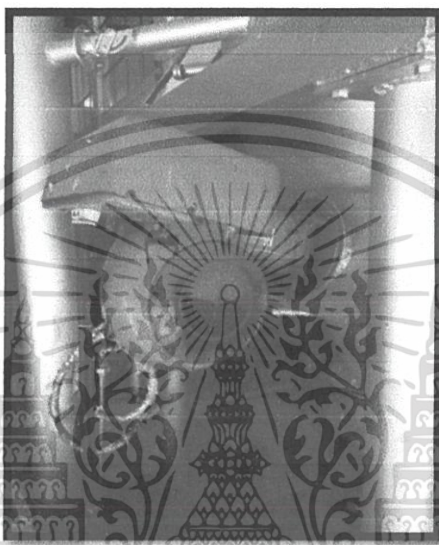
3.1.4 หัวเผา (Burner)

รูปที่ 3.4 แสดง หัวเผา ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยหัวเผานี้จะมีหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 2 หัว

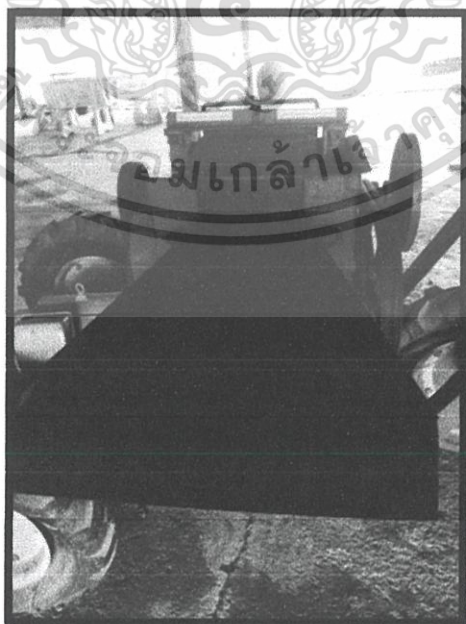
3.1.5 เครื่องย่อยผักตบชวา

รูปที่ 3.5 แสดง เครื่องย่อยผักตบชวาใช้สำหรับย่อยผักตบชวาให้มีขนาดเล็กกลง เพื่อใช้สำหรับทำการ

ทดลอง



รูปที่ 3.4 หัวเผา



รูปที่ 3.5 เครื่องย่อยผักตบชวา

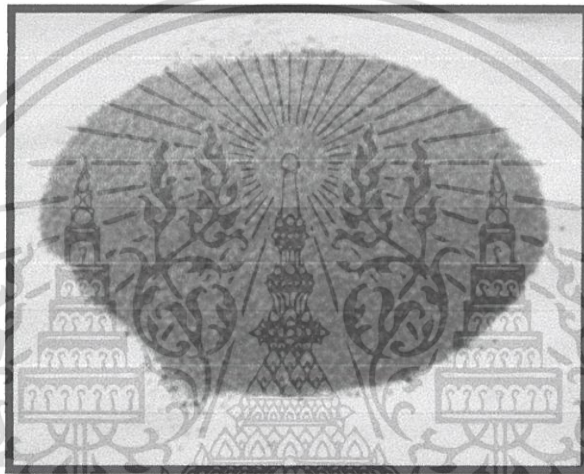
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ทราย

รูปที่ 3.6 แสดง ทราย หรือ Silica Sand ใช้เป็นเบดสำหรับการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีขนาด 600-850 ไมโครเมตร

3.1.7 U-tube Manometer

รูปที่ 3.7 แสดง ใช้วัดค่าความดันลมที่หัวกระจายลมและแรงดันตกคร่อมกับ Orifice โดยใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการปรับอัตราการไหลของอากาศส่วนเกิน



รูปที่ 3.6 ทรายขนาด 600-850 μm



รูปที่ 3.7 U-tube Manometer

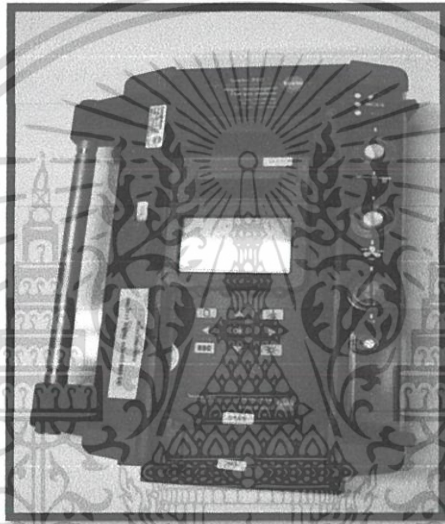
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 เครื่องวัดมลพิษ (Testo 350XL)

รูปที่ 3.8 แสดง Testo 350XL ใช้สำหรับวัดค่าก๊าซไอเสียภายในเตาและปากปล่องเตาก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในการวิจัยจะใช้วัดก๊าซ CO และ NO ที่บริเวณปล่องระบายไอเสีย

3.1.9 เทอร์โมคัปเปิล

รูปที่ 3.9 แสดง เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาขณะทำการเผาชีวมวลที่ค่าอากาศส่วนเกินต่างๆ



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดมลพิษ Testo 350XL



รูปที่ 3.9 เทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.10 ผักตบชวา

รูปที่ 3.10 แสดง ผักตบชวาที่ผ่านการตัดและอบแห้งแล้ว

3.1.11 แกลบ

รูปที่ 3.11 แสดง แกลบที่ได้จากการสีข้าว



รูปที่ 3.10 ผักตบชวา



รูปที่ 3.11 แกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระยะเวลาการวิจัย

มีระยะเวลาในการทำวิจัยทั้งหมด 9 เดือน คือตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2557 ถึงเดือนเมษายน 2558 ซึ่งการดำเนินการตลอดระยะเวลาการวิจัยสามารถเขียนเป็นตารางสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย

| ขั้นตอนดำเนินงาน | ปี / เดือน | | | | | | | | |
|---|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | 2557 | | | | | 2558 | | | |
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 1.ศึกษาข้อมูลวัสดุ ทราาย ผักตบชวา และแกลบ | ← | → | | | | | | | |
| 2.เก็บรวบรวมวัสดุ | | ← | → | → | → | | | | |
| 3.เตรียมวัสดุสำหรับทดลอง | | | ← | → | → | → | | | |
| 4.ทดลองเผาผักตบชวาผสมแกลบ | | | | | ← | → | → | | |
| 5.วิเคราะห์และสรุปผล | | | | | | | ← | → | → |
| 6.เขียนรายงานการวิจัย | | | | | | | | ← | → |

3.4 งบประมาณการวิจัย

สำหรับการวิจัยนี้จะใช้งบประมาณเพื่อดำเนินการศึกษาและวิจัยเป็นจำนวนเงินโดยประมาณ 5000 บาท(ห้าพันบาทถ้วน) ใช้ในการซื้อชีวมวลต่างมาใช้ในการทดลอง น้ำมันเชื้อเพลิง และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ในการทำการทดลอง

3.5 การวางแผนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง คือ ผักตบชวา แกลบ หัวกระจายลมและเบต (ทราาย)
2. ใส่เบตลงในเตาเผาโดยกำหนดความสูง 20 cm เหนือหัวกระจายลม
3. จุดเตาเผา โดยใช้หัวเผา น้ำมันดีเซลในการเริ่มต้นให้ความร้อนแก่เบตและวัดค่าอากาศส่วนเกิน ตามตาราง 3.2 พร้อมเริ่มป้อนชีวมวลเข้าไปในเตาเผา จนกระทั่งอุณหภูมิของเบตมีค่า 500-600 องศาเซลเซียส จากนั้นดับหัวเผา
4. ใช้ Testo-350XL ในการวัดค่าการวัดค่าก๊าซ NO, CO ที่ออกมาจากเตาเผา พร้อมเก็บข้อมูลในทุกๆการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เทอร์โมคัปเปิลถูกใช้ในการวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเตาเผา ที่ทุกช่วงความสูงของเตา โดยวัดอุณหภูมิทุก 5 นาที
6. ซิวมวลที่ใช้ในการทดลอง คือ ผักตบชวาผสมแกลบ

ตารางที่ 3.2 ตารางแผนการทดลอง

| | |
|--|--------------------|
| อากาศส่วนเกิน(%) | 40, 60, 80 และ 100 |
| อัตราการป้อนชีวมวล(kg/hr) | 55 kg/hr |
| อัตราการผสมชีวมวล | 1 : 1 |
| ขนาดของเบด (μm) | 600-850 |
| ความสูงของเบดที่วัดจากหัวกระจายลม (cm) | 20 |
| มุมมองสตาไบพัด (องศา) กับแนวตั้ง | 76 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.1 ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิง (As-received basis)

| เชื้อเพลิง | Ultimate analysis (wt.%, "as-received" basis) | | | | | Proximate analysis (wt.%, "as-received" basis) | | LHV (KJ/Kg) |
|------------|--|------|-------|------|------|--|-------|----------------|
| | C | H | O | N | S | W | A | |
| ผักตบชวา | 27.79 | 4.55 | 34.39 | 0.93 | 0.32 | 6.33 | 32.02 | 9710.4 |
| แกลบ | 38.00 | 4.55 | 32.40 | 0.96 | 0.06 | 10.30 | 14.00 | 12340.0 |

จากตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เห็นได้ว่าผักตบชวามีค่าความร้อนที่ 9710.4 กิโลจูล/กิโลกรัม และยังมีปริมาณขี้เถ้ามากถึง 32.02% ในส่วนของแกลบมีค่าความร้อนที่ 12340.0 กิโลจูล/กิโลกรัม และมีปริมาณขี้เถ้า 14.00% เห็นได้ว่าแกลบมีค่าความร้อนมากกว่าผักตบชวาถึง 2629.6 กิโลจูล/กิโลกรัม และปริมาณขี้เถ้าของแกลบน้อยกว่าผักตบชวาถึง 18.02%

4.2 การทดลองหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงโดยเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียว

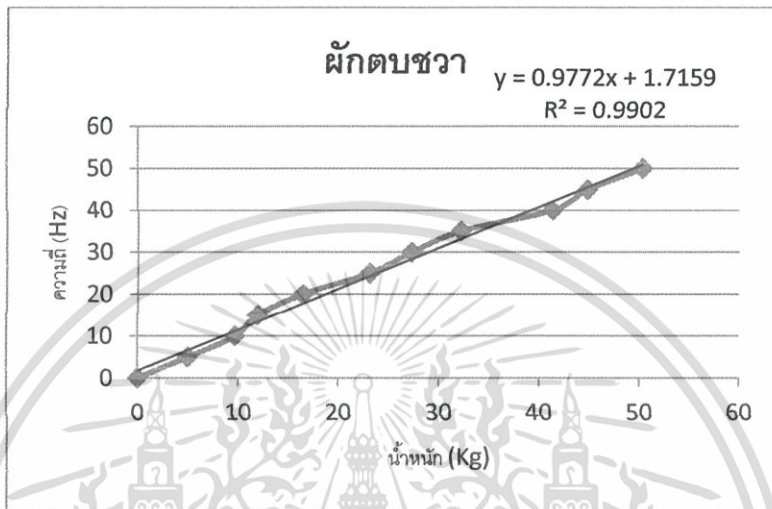
ตารางที่ 4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่กระแสไฟฟ้าต่อปริมาณผักตบชวา

| ความถี่กระแสไฟฟ้า (Hz) | ปริมาณผักตบชวา (kg/hr) |
|------------------------|------------------------|
| 50 | 50.37 |
| 45 | 44.85 |
| 40 | 41.31 |
| 35 | 32.16 |
| 30 | 27.27 |
| 25 | 23.10 |
| 20 | 16.41 |
| 15 | 11.91 |
| 10 | 9.72 |
| 5 | 5.01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองงานวิจัยนี้ จะทดลองโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เฮิร์ต เพื่อหาปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียว

ตารางที่ 4.2 สามารถสรุปออกมาเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่าง ปริมาณผักตบชวากับความถี่กระแสไฟฟ้าที่ให้แก่มอเตอร์ของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียว ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผักตบชวากับความถี่กระแสไฟฟ้า

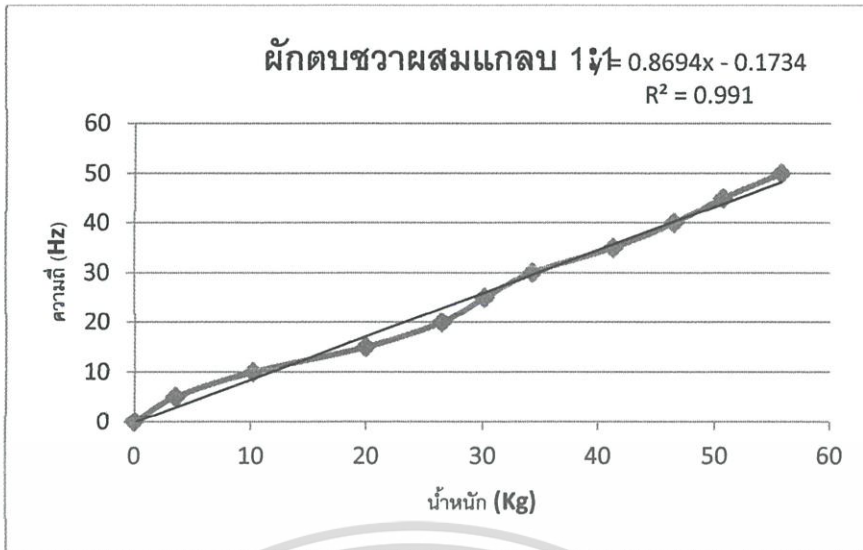
ตารางที่ 4.2 สามารถสรุปออกมาเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่าง ปริมาณผักตบชวากับความถี่กระแสไฟฟ้าที่ให้แก่มอเตอร์ของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียว ได้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 สามารถสรุปออกมาเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่าง ปริมาณผักตบชวากับความถี่กระแสไฟฟ้าที่ให้แก่มอเตอร์ของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียว ได้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อปริมาณผักตบชวาผสมเกลบ

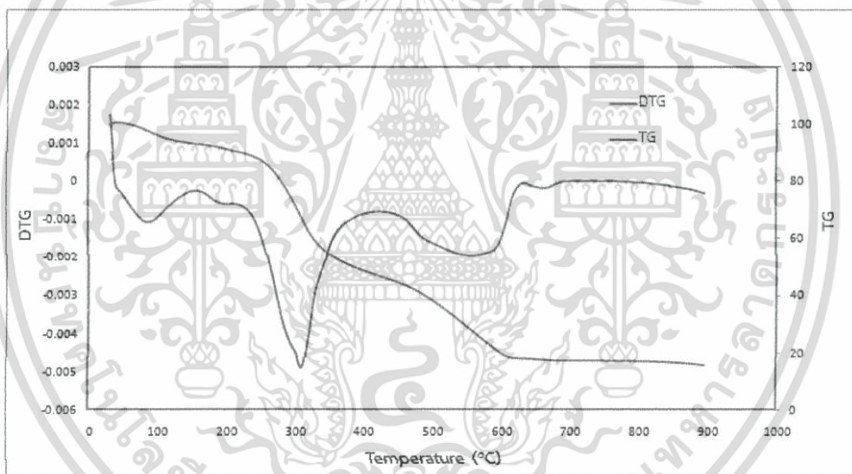
| ความถี่กระแสไฟฟ้า (Hz) | ปริมาณผักตบชวาผสมเกลบ (kg/h) |
|------------------------|------------------------------|
| 50 | 55.7196 |
| 45 | 50.6532 |
| 40 | 46.5204 |
| 35 | 41.2638 |
| 30 | 34.2546 |
| 25 | 30.1224 |
| 20 | 26.4312 |
| 15 | 19.9002 |
| 10 | 10.1112 |
| 5 | 3.5226 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผักตบชวาผสมแกลบกับความถี่กระแสไฟฟ้า

4.3 ผลการทดสอบการเผาไหม้จากเครื่อง Thermo gravimetric Analysis (TGA)



รูปที่ 4.3 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักผักตบชวาที่ลดลงเทียบกับอุนหมุมิ

รูปที่ 4.3เป็นการแสดงผลที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างการเผาผักตบชวา โดยการใช้เครื่อง TGA โดยที่กราฟ TG อุนหมุมิตั้งแต่ 150°C ถึง 260°C จะแสดงให้เห็นถึง อุนหมุมิที่ทำให้น้ำระเหยออกมาจากผักตบชวา หลังจากอุนหมุมิ 650°C เป็นต้นไป ไปจนถึงอุนหมุมิ 2,500°C จะเป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ของเนื้อผักตบชวา และจากกราฟ DTG จะทำให้เห็นถึงอัตราความเร็วของการสลายสารประกอบที่อยู่ในผักตบชวา โดย peak 1 จะแสดงให้เห็นถึงการระเหยของน้ำที่อยู่ในกะลา peak 2 แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลส peak 3 แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

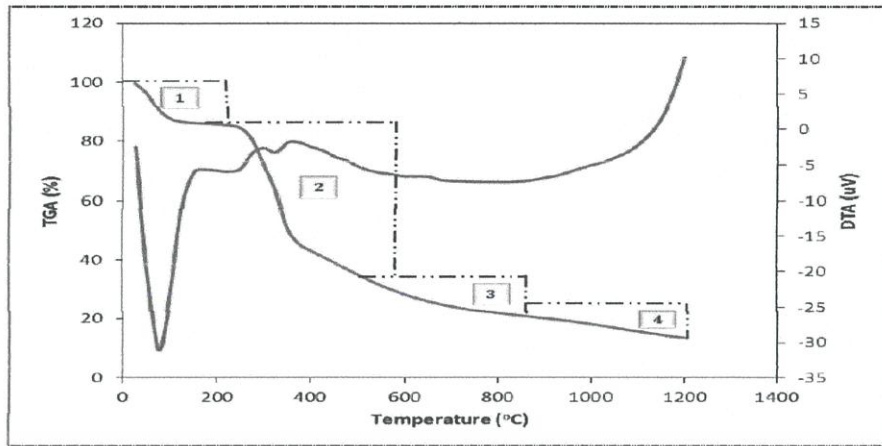


Fig. 3. TGA/DTA curves of rice husk ash fired to various temperature regimes

รูปที่ 4.4 เปรอ์เซ็นต์ของน้ำหนักแกลบที่ลดลงเทียบกับอุณหภูมิ [19]

รูปที่ 4.4 เป็นการแสดงผลที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างการเผาแกลบ โดยการใช้เครื่อง TGA โดยที่กราฟ TG อุณหภูมิตั้งแต่ 150°C ถึง 240°C จะแสดงให้เห็นถึง อุณหภูมิที่ทำให้น้ำระเหยออกมาจากแกลบ หลังจากอุณหภูมิ 390°C เป็นต้นไป ไปจนถึงอุณหภูมิ 1,200°C จะเป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ของเนื้อแกลบ และจากกราฟ DTA จะทำให้เห็นถึงอัตราความเร็วของการสลายสารประกอบที่อยู่ในแกลบ โดย peak 1 จะแสดงให้เห็นถึงการระเหยของน้ำที่อยู่ในแกลบ peak 2 แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลส peak 3 แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายเซลลูโลส

จากผลของการทำ TGA ทำให้เราทราบถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ผักตบชวา และ แกลบซึ่งมีส่วนสำคัญช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการจุดเตาและการรักษาอุณหภูมิภายในเตาไม่ให้นั้นดับได้

4.4 ผลการทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงผักตบชวาผสมแกลบ

จากการทดลองการเผาไหม้ผักตบชวาผสมแกลบที่มีความชื้นไม่เกิน 15% wet-basis โดยทำการบันทึกข้อมูลค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆในเตาตามความสูง, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากการเผาไหม้, ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกจากเตาและปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลือในขี้เถ้า

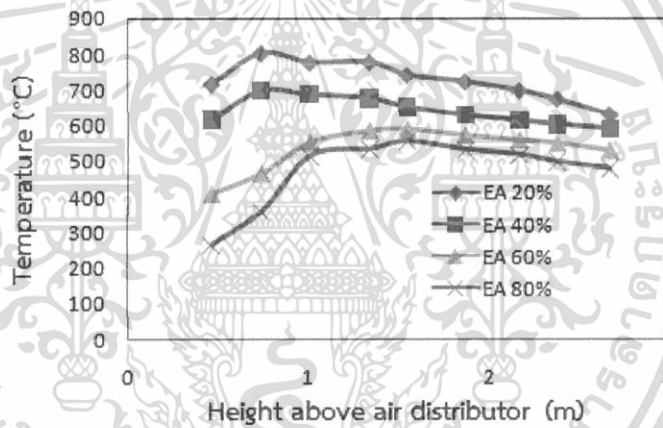
4.4.1 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในเตา Conical SFBC

จากการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงผักตบชวาที่มีความชื้นไม่เกิน 15% wet-basis โดยการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินโดยการวัดอุณหภูมิภายในเตา Conical SFBC ตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20% พบว่าที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 2 มีอุณหภูมิสูงที่สุดและตำแหน่งถัดๆมาของเทอร์โมคัปเปิล 3

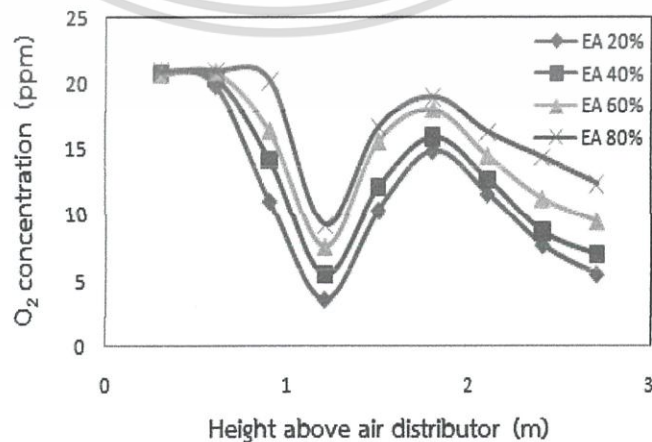
ตามแนวแกนมีอุณหภูมิต่ำลงเรื่อยๆจนน้อยที่สุดที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 9 (ที่บริเวณทางออกของเตา) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งตามแนวระดับ จะต่างกันประมาณ 20-40 °C สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 2 เป็นตำแหน่งที่มีการเผาไหม้เกิดขึ้น และบริเวณถัดจากตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 2 จะเป็นบริเวณที่มีอากาศไหลผ่านเข้าซึ่งการไหลจะเป็นการไหลแบบหมุนวนขึ้นข้างบนจึงทำให้บริเวณที่อยู่ถัดขึ้นไปมีอุณหภูมิต่ำลง

รูปที่ 4.5 จะเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลของการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 20, 40, 60 และ 80% โดยจะเห็นได้ว่าอากาศส่วนเกินนั้นมีผลต่ออุณหภูมิภายในเตา Conical SFBC ในการวัดอุณหภูมิตามแนวแกนพบว่าเมื่อมีอากาศส่วนเกินมากขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิภายในระบบลดลงเนื่องจากอากาศที่จ่ายให้กับระบบเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศที่มาจากสิ่งแวดล้อม เวลานั้นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายในเตามาก เมื่อเพิ่มปริมาณการจ่ายอากาศเพิ่มขึ้นจึงทำให้อุณหภูมิภายในระบบนั้นลดลงโดยประมาณ 60 -180 °C



รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิภายในเตาเผาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80%



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณออกซิเจนภายในเตาเผาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

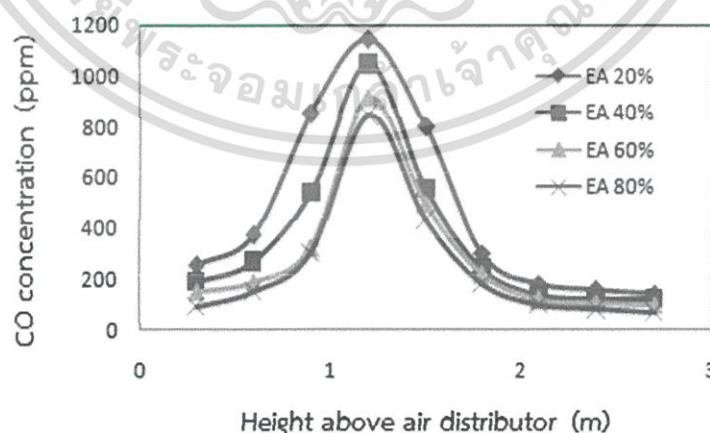
4.4.2 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อ O_2 ภายในเตาConical SFBC ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงที่สุดและเมื่อทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่จุดถัดมา $z=0.74$ เมตรจะพบว่าที่จุดนี้มีค่าของก๊าซออกซิเจนลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าเกิดการเผาไหม้อย่างมากที่จุดนี้ เนื่องจากมีการนำก๊าซออกซิเจนที่จุดนี้ไปใช้จำนวนมากและในจุดถัดมาปริมาณออกซิเจนมีการเพิ่มขึ้นอีกและลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิภายในเตา ดังรูปที่ 4.6ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากผลของอากาศหตุยภูมิ ซึ่งเป็นไปตามที่ส่งผลกับอุณหภูมิ

4.4.3 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเกิดCO ภายในเตาSFBC

รูปที่ 4.7 การเกิด CO สูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% เนื่องจากปริมาณอากาศส่วนเกินน้อย O_2 ที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่เพียงพอต่อกระบวนการเผาไหม้ภายในเตา เมื่อเราทำการเพิ่มอากาศส่วนเกินในเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นจะพบปฏิกิริยาการฟอร์มตัวของ CO ภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดได้ตามสมการที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4



และ สามารถพบปฏิกิริยาการสลายตัวของ CO ภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดได้ ตามสมการที่ 4.5, 4.6



รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในเตาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

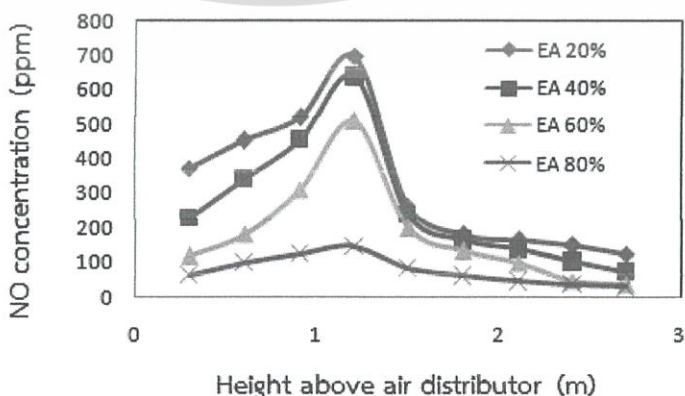
4.4.4 ผลกระทบของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเกิด NO ภายในเตาSFBC

เนื่องจากการเผาไหม้ในระบบฟลูอิดไดซ์เบดนั้นจะไม่สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่จะทำให้สามารถเผาไหม้ได้พอดี จึงต้องจ่ายอากาศที่เกินเข้าไปเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้นซึ่งเมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกินเข้าไปแล้วจะส่งผลให้การเกิด NO ภายในเตานั้นลดลง

รูปที่ 4.8 อากาศส่วนเกิน 80% มีปริมาณ NO น้อยที่สุดเป็นผลมาจาก O_2 ถูกดึงไปใช้ในการเผาไหม้เป็นส่วนมากทำให้เหลือ O_2 ทำปฏิกิริยากับ N น้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบการเกิด NO ตามอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่อากาศส่วนเกิน 20% นั้นเกิด NO ที่มีค่าสูงที่สุด จะเห็นได้จากปฏิกิริยาการฟอร์มตัวของ NO จากสมการที่ 4.7, 4.8 และ 4.9



แต่เมื่อทำการเพิ่มอากาศส่วนเกินเข้าไป 40, 60 และ 80% นั้นไม่ได้มีผลทำให้การเกิด NO นั้นสูงขึ้นอันเนื่องมาจากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์อุณหภูมิจะลดลงตามความสูงของเตา และมีออกซิเจนเหลือไม่มากพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาฟอร์มตัวเป็น NO และการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (Reduction) ของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนตริกออกไซด์ ตามสมการที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

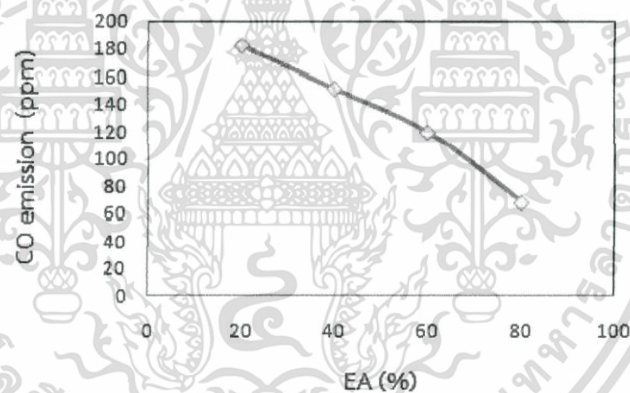


รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณไนตริกออกไซด์ภายในเตาตามแนวแกนที่อากาศส่วนเกิน 20, 40, 60 และ 80% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

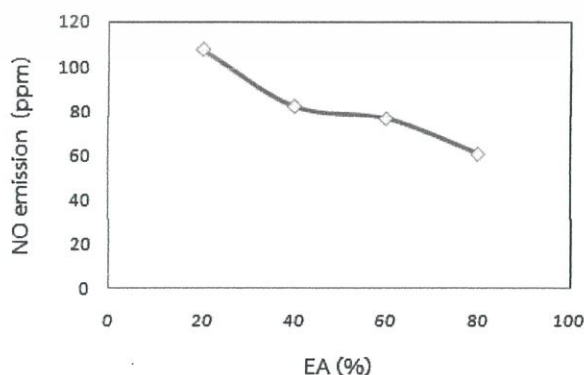
4.4.5 ผลกระทบเมื่อเปลี่ยนแปลงอากาศส่วนเกินต่อมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ไนตริกออกไซด์ (NO)

รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของมลพิษก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดขึ้นสูงในช่วงของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 20% เกิดสูงที่สุดและเกิดต่ำสุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 80% เนื่องจากการจ่ายอากาศเข้าไบนั้นจะช่วยเพิ่มออกซิเจนให้มากขึ้นทำให้การเผาไหม้นั้นสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งจากการเผาที่อากาศส่วนเกิน 80% นั้นจะปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยที่สุดเพียง 70 ppm จะเห็นว่าอากาศส่วนเกินที่มากมีผลทำให้การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นลดลง

รูปที่ 4.10 พบว่าการเกิด NO ไม่เกิน 150 ppm อาจเป็นผลมาจากด้านบนของเตานั้นมีออกซิเจนน้อย เนื่องจากออกซิเจนถูกใช้ไปสำหรับการเผาไหม้ในส่วนด้านล่างเตาไปแล้วเป็นจำนวนมาก และจากกราฟตามเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 80% มีแนวโน้มที่จะเกิด NO น้อยเนื่องจากอุณหภูมิภายในเตานั้นต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อย และจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 20% มีการเกิด NO ที่สูงว่าเนื่องจากการเผาไหม้มีอุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.9 แสดงการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน



รูปที่ 4.10 แสดงการปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 ประสิทธิภาพและ Unburned carbon จากการเผาไหม้ในเตาConical SFBC

ตารางที่4.4ตารางแสดงประสิทธิภาพเตาและ Unburned Carbon จากการเผาไหม้ในเตาSFBC

| %EA | UC | q_{uc} | CO | q_{ic} | η เฉลี่ย |
|-----|-------|----------|-------|----------|---------------|
| 20 | 8.91 | 10.025 | 181.8 | 0.06229 | 89.91 |
| 40 | 5.88 | 6.400 | 150.8 | 0.06567 | 93.53 |
| 60 | 13.06 | 15.400 | 119.0 | 0.05188 | 84.55 |
| 80 | 3.42 | 3.630 | 67.4 | 0.04170 | 96.33 |

ตารางที่ 4.4แสดงให้เห็นถึง unburned carbon และประสิทธิภาพของเตาเผาเมื่อค่าอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 40%, 60%และ 80% จะพบว่าที่อากาศส่วนเกิน 80% ประสิทธิภาพของเตาเผาจะสูงที่สุดขึ้นอันเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มอากาศเข้าไปในเตาเผาทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ทำให้มีออกซิเจนมากเพียงพอที่จะจับตัวกับคาร์บอนกลายเป็น CO₂ และการเพิ่มอากาศไม่ได้ส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในเตานั้นลด จึงทำให้มีคาร์บอนมอนอกไซด์และunburned carbonที่น้อย ประสิทธิภาพของเตาจึงสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาผลกระทบของการเผาผักตบชวาผสมแกลบในอัตราส่วน 1 : 1 ในเตา Conical SFBC โดยกำหนดอากาศส่วนเกินที่ 20 ,40 ,60 ,80% และมีอัตราการป้อนชีวมวลอยู่ที่ 55 กิโลกรัม/ ชั่วโมง ทRAY มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 600-850 ไมโครเมตร มีความสูง 20 เซนติเมตร โดยวัดจากหัวกระจายลม ความชื้นชีวมวลอยู่ที่ 10-15% เพื่อหาปริมาณคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ , ประสิทธิภาพเตา และปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เตาทางออกเมื่อเผาผักตบชวาอยู่ที่ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อนำผักตบชวามาผสมกับแกลบ แล้วทำการเผาในเตา Conical SFBC ที่อากาศส่วนเกิน 20% จะได้อุณหภูมิสูงสุด ที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 2(ตำแหน่งที่เริ่มมีการเผาไหม้) และตำแหน่งถัดๆมาของเทอร์โมคัปเปิล ตามแนวความสูงของเตา จะมีอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ จนถึงเทอร์โมคัปเปิล 9 (ที่บริเวณทางออกของเตา)เพราะภายในเตา Conical SFBC มีการไหลผ่านของอากาศแบบหมุนวนขึ้นข้างบนจึงทำให้อุณหภูมิลดลง ส่วนค่าความร้อนตามแนวระดับจะมีอุณหภูมิต่างกับอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาที่แต่ละจุดประมาณ 20-40 องศาเซลเซียส ซึ่งอากาศส่วนเกินที่ 20% จะได้ค่าอุณหภูมิ(ประมาณ 850 องศาเซลเซียส)สูงกว่าค่าอากาศส่วนเกินอื่นๆ เพราะการเพิ่มอากาศส่วนเกินจะทำให้มีการไหลเวียนผ่านของอากาศมากขึ้น ซึ่งการไหลเวียนผ่านของอากาศได้นำความร้อนออกไปนอกเตา จึงทำให้เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกินจะทำให้อุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ และในส่วนของ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิหรืออากาศส่วนเกินก็มีผลต่อปริมาณก๊าซ O_2 ภายในเตา Conical SFBC โดยในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซ O_2 ต่ำ เนื่องจากบริเวณนั้นมีการเผาไหม้เกิดขึ้นทำให้มีการดึงก๊าซ O_2 ไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งภายในเตา จุดที่มีก๊าซ O_2 สูงที่สุดคือที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 1 (จุดแรกที่มีอากาศไหลเข้ามาภายในเตา) และจุดที่มีปริมาณก๊าซ O_2 ต่ำที่สุดคือที่ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล 2 (จุดที่มีการเผาไหม้) หลังจากจุดเผาไหม้แล้วปริมาณก๊าซ O_2 จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการให้อากาศของ secondary air หลังจากนั้นปริมาณก๊าซ O_2 จะค่อยๆลดลงอีกครั้งเพราะถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้ภายในเตาที่มีการหมุนเวียน ซึ่งการให้อากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นนั้นก็ส่งผลให้ปริมาณก๊าซ O_2 นั้นเพิ่มขึ้นด้วย ในส่วนของก๊าซ CO ที่อากาศส่วนเกิน 20% จะมีปริมาณของก๊าซ CO สูงที่สุดเพราะเนื่องจากอากาศส่วนเกินน้อย ปริมาณก๊าซ O_2 ที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่เพียงพอต่อ

กระบวนการเผาไหม้ภายในเตา เมื่อทำการเพิ่มอากาศส่วนเกินจะทำการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ปริมาณ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซ CO ก็จะลดลง และในส่วนของปริมาณการเกิดก๊าซ NO นั้นจะมีปริมาณสูงที่สุดที่อากาศส่วนเกินที่ 20% เพราะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ซึ่งเมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน ปริมาณก๊าซ NO จะลดลงเพราะปริมาณอากาศส่วนเกินที่เข้าไปจำนวนมากจะทำให้อุณหภูมิกายในเตาลดลง ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดพบว่า unburned carbon และประสิทธิภาพของเตา Conical SFBC เมื่อค่าอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 40 ,60 และ 80% พบว่าที่อากาศส่วนเกิน 80% ประสิทธิภาพของเตาจะสูงที่สุด เพราะเมื่อเราเพิ่มอากาศเข้าไปภายในเตานั้นทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ปริมาณก๊าซ CO ลดน้อยลง unburned carbon น้อย ประสิทธิภาพเตาจึงสูงที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.ในการเตรียมเชื้อเพลิงควรเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นน้อย และตรวจสอบสภาพเครื่องบด ผักตบชวาทุกครั้งก่อนที่จะทำการบด เนื่องจากอาจเกิดอันตรายขณะทำงานได้
- 2.ในการจุดเตาทุกครั้งควรเช็คอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนเปิดเครื่องเพราะอุปกรณ์ต่างๆ จะมีลำดับในการเปิดถ้าเกิดมีอุปกรณ์บางชนิดเปิดก่อนอาจเกิดอันตรายหรือเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ได้
- 3.ควรตรวจเช็คอุปกรณ์วัดมลพิษก่อนทำการทดลองทุกครั้ง และในการทำการวัดที่จุดต่างๆบนเตาควรมีอุปกรณ์ช่วยวัดระยะเพื่อความเร็วในการวัด ณ จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาอากาศส่วนเกินที่ 20%

$$\begin{aligned} - \alpha &= \frac{21}{21 - O_2} \\ - 1.2 &= \frac{21}{21 - O_2} \\ - O_2 &= 3.5 \end{aligned}$$

การคำนวณหาค่าความร้อนสูง

$$\begin{aligned} HHV &= 339C + 1256H - 109(O - S) \\ HHV &= (339 \times 27.79) + (1256 \times 4.55) - 109(34.39 - 0.32) \\ HHV &= 11421.98 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

การคำนวณหาค่าความร้อนต่ำ

$$\begin{aligned} LHV &= HHV - 24.42(W + 8.94H) \\ LHV &= 11421.98 - 24.42(6.33 + (8.94 \times 4.55)) \\ LHV &= 10274.07 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

การหาปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎี

$$\begin{aligned} V^0 &= 0.0889(C + 0.375S) + 0.265H - 0.0333O \\ V^0 &= 0.0889(27.79 + (0.375 \times 0.32)) + (0.265 \times 4.55) - (0.0333 \times 34.39) \\ V^0 &= 2.54 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

การหาปริมาตรของไนโตรเจน

$$\begin{aligned} V^0_{N_2} &= 0.79V^0 + 0.008N^r \\ V^0_{N_2} &= (0.79 \times 2.54) + (0.008 \times 0.93) \\ V^0_{N_2} &= 2.01 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาตรของก๊าซ (tri-atomic)

$$V_{RO_2} = 0.01866(C^r + 0.375S^r)$$

$$V_{RO_2} = 0.01866(27.79 + (0.375 \times 0.32))$$

$$V_{RO_2} = 0.52 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

การหาอากาศส่วนเกิน คำนวณโดยคิด CO ในก๊าซไอเสียแห้ง

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 0.5CO)}$$

$$\alpha = \frac{21}{21 - (3.82 - (0.5 \times 0.01818))}$$

$$\alpha = 1.22$$

การคำนวณปริมาณก๊าซไอเสียแห้งภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน

$$V_{dg} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0$$

$$V_{dg} = 0.52 + 2.01 + (1.22 - 1)2.54$$

$$V_{dg} = 3.09 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

การคำนวณหาความร้อนสูญเสียเนื่องจากคาร์บอนที่เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

$$q_{uc} = \frac{32886}{LHV} \left(\frac{C_c}{100 - C_c} \right) A$$

$$q_{uc} = \frac{32886}{10274.07} \left(\frac{8.91}{100 - 8.91} \right) 32.02$$

$$q_{uc} = 10.025\% \text{LHV}$$

การคำนวณหาความร้อนสูญเสียสำหรับการเผาไหม้

$$q_{ic} = 126.4CO V_{dg} \frac{(100 - q_{uc})}{LHV}$$

$$q_{ic} = (126.4 \times 0.01818 \times 3.0954) \frac{(100 - 10.025)}{10274.07}$$

$$q_{ic} = 0.06229\% \text{LHV}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาประสิทธิภาพ (%LHV)

$$\eta_c = 100 - (q_{uc} + q_{ic})$$

$$\eta_c = 100 - (10.025 + 0.06229)$$

$$\eta_c = 89.91$$

#####



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF - 044

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
TEST REPORT
FOR PROXIMATE ANALYSIS

Report No. C.029/58

Page 1 of 2

CUSTOMER : นางสาวจรรยา เวชชาณีย์
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| LAB NO. | | | | 58X0029 | 58X0030 |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| SAMPLE NAME | | | | กะลาตาผล | ผักตบชวาบด |
| SAMPLE DESCRIPTION | | | | - | - |
| SAMPLE CONDITION | | | | normal | normal |
| SAMPLED DATE | | | | - | - |
| RECEIVED DATE | | | | 24/01/2015 | 24/01/2015 |
| ANALYSED DATE | | | | 28/01/2015-05/02/2015 | 28/01/2015-05/02/2015 |
| BASIS | PARAMETER | UNIT | METHOD | RESULT | |
| | AS RECEIVED | MOISTURE | % by weight | ASTM D3302 M-10 | 9.67 |
| ASH | | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 1.83 | 31.02 |
| VOLATILE MATTER | | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 71.68 | 57.31 |
| FIXED CARBON | | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 16.81 | 2.42 |
| SULPHUR | | % by weight | ASTM D4239-12 | 0.08 | 0.31 |
| GROSS CALORIFIC VALUE | | MJ/Kg | ASTM D5865-11a | 18.01 | 10.70 |
| | | Kcal/Kg | | 4306 | 2557 |
| * | NET CALORIFIC VALUE | MJ/Kg | ASTM D5865-11a | 16.63 | 9.67 |
| | | Kcal/Kg | | 3974 | 2312 |
| DRY BASIS | ASH | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 2.03 | 34.78 |
| | VOLATILE MATTER | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 79.36 | 63.15 |
| | FIXED CARBON | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 18.61 | 2.67 |
| | SULPHUR | % by weight | ASTM D4239-12 | 0.09 | 0.34 |
| | GROSS CALORIFIC VALUE | MJ/Kg | ASTM D5865-11a | 19.94 | 11.79 |
| | | Kcal/Kg | | 4767 | 2817 |
| * | NET CALORIFIC VALUE | MJ/Kg | ASTM D5865-11a | 18.67 | 10.90 |
| | | Kcal/Kg | | 4461 | 2606 |
| AIR DRY BASIS | INHERENT MOISTURE | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 6.31 | 6.33 |
| | ASH | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 1.90 | 32.02 |
| | VOLATILE MATTER | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 74.35 | 59.15 |
| | FIXED CARBON | % by weight | ASTM D7582-10 ^{e1} | 17.44 | 2.50 |
| | SULPHUR | % by weight | ASTM D4239-12 | 0.08 | 0.32 |
| | GROSS CALORIFIC VALUE | MJ/Kg | ASTM D5865-11a | 18.69 | 11.04 |
| | | Kcal/Kg | | 4466 | 2639 |
| | * RELATIVE DENSITY | | AS 1038.21.1.1-2002 | - | - |

Remark : The results relate only to the sample(s) tested. This document shall not be reproduced except in full.

Chemist :

(Ms. Wirunchana Akkarut)

...../...../.....

Laboratory Section, Geology Department, Mae Moh Mine Planning and Administration Division, EGAT
801 M.6 T. Mae Moh, A. Mae Moh, Lampang 52220 Tel. 66-054-254136, 66-054-254037 Fax. 66-054-254037

Rev.12 03/06/57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF - 112

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
TEST REPORT
FOR ULTIMATE ANALYSIS

Report No.C.029/58

Page 2 of 2

CUSTOMER : นางสาวจรรยา เวชพณิชย์

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| LAB NO. | | | | 58X0029 | 58X0030 |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| SAMPLE NAME | | | | กะลาตาบล | หัตถบขวบล |
| SAMPLE DESCRIPTION | | | | - | - |
| SAMPLE CONDITION | | | | normal | normal |
| SAMPLED DATE | | | | - | - |
| RECEIVED DATE | | | | 24/01/2015 | 24/01/2015 |
| ANALYSED DATE | | | | 28/01/2015-05/02/2015 | 28/01/2015-05/02/2015 |
| | ULTIMATE ANALYSIS | UNIT | METHOD | RESULT | |
| AS DETERMINED (AIR DRY) BASIS | MOISTURE | % by weight | ASTM D7582-10 ^{E1} | 6.31 | 6.33 |
| | ASH | % | ASTM D7582-10 ^{E1} | 1.90 | 32.02 |
| | CARBON | % | ASTM D5373-08 | 47.14 | 27.79 |
| | HYDROGEN | % | ASTM D5373-08 | 6.26 | 4.55 |
| | NITROGEN | % | ASTM D5373-08 | 0.20 | 0.93 |
| | TOTAL SULPHUR | % | ASTM D4239-12 | 0.08 | 0.32 |
| | * OXYGEN | % | (plus errors) | 44.42 | 34.39 |
| DRY BASIS | ASH | % | ASTM D7582-10 ^{E1} | 2.03 | 34.18 |
| | CARBON | % | ASTM D5373-08 | 50.34 | 29.67 |
| | HYDROGEN | % | ASTM D5373-08 | 5.93 | 4.10 |
| | NITROGEN | % | ASTM D5373-08 | 0.21 | 0.99 |
| | TOTAL SULPHUR | % | ASTM D4239-12 | 0.09 | 0.34 |
| | * OXYGEN | % | (plus errors) | 41.43 | 30.71 |
| DRY ASH-FREE BASIS | CARBON | % | ASTM D5373-08 | 51.36 | 45.08 |
| | HYDROGEN | % | ASTM D5373-08 | 6.05 | 6.23 |
| | NITROGEN | % | ASTM D5373-08 | 0.22 | 1.51 |
| | TOTAL SULPHUR | % | ASTM D4239-12 | 0.09 | 0.52 |
| | * OXYGEN | % | (plus errors) | 42.29 | 46.66 |

Remark : The results relate only to the sample(s) tested. This document shall not be reproduced except in full.

Chemist :

(Dr.Kanitta Wongyai)

...../.....

Laboratory Section, Geology Department, Mae Moh Mine Planning and Administration Division, EGAT
 801 M.6 T. Mae Moh, A. Mae Moh, Lampang, 52220 Tel. 66-054-254136, 66-054-254037 Fax. 66-054-254037

Rev.01 03/06/57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 แสดงข้อมูลก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา

| จุดความสูง | อากาศส่วนเกิน | | | |
|------------|---------------|-----------|----------|----------|
| | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 0.3 | 252.1429 | 189.8571 | 150.7143 | 89.0000 |
| 0.6 | 371.5714 | 266.7143 | 186.1429 | 149.2857 |
| 0.9 | 850.4286 | 541.1429 | 320.5714 | 301.7143 |
| 1.2 | 1141.2860 | 1043.4290 | 915.8571 | 842.4286 |
| 1.5 | 797.5714 | 553.7143 | 495.1429 | 431.8571 |
| 1.8 | 298.5714 | 242.4286 | 215.8571 | 181.5714 |
| 2.1 | 182.8571 | 137.7143 | 115.7143 | 95.8571 |
| 2.4 | 155.4286 | 121.4286 | 103.2857 | 78.7142 |
| 2.7 | 141.7143 | 120.2857 | 98.2857 | 68.1428 |
| 3.0 | 95.2857 | 88.4285 | 78.7142 | 53.7142 |

ตาราง ข-2 แสดงข้อมูลก๊าซ NO ที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา

| ความสูงเตา | อากาศส่วนเกิน | | | |
|------------|---------------|----------|----------|----------|
| | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 0.3 | 373.7000 | 226.9000 | 116.2000 | 60.8000 |
| 0.6 | 452.0000 | 340.5000 | 180.3000 | 99.2000 |
| 0.9 | 519.2000 | 456.3000 | 311.2000 | 124.4000 |
| 1.2 | 696.3000 | 638.7000 | 509.5000 | 145.8000 |
| 1.5 | 265.1000 | 237.7000 | 199.1000 | 84.3750 |
| 1.8 | 178.3000 | 162.4286 | 131.9000 | 59.1000 |
| 2.1 | 163.8571 | 136.8571 | 97.4000 | 44.3000 |
| 2.4 | 147.4286 | 101.6000 | 47.6000 | 37.2500 |
| 2.7 | 126.0000 | 72.9000 | 35.8333 | 28.5000 |
| 3.0 | 107.6000 | 64.3000 | 24.7500 | 41.5000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-3 แสดงข้อมูลก๊าซ O₂ ที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา

| จุดความสูง | อากาศส่วนเกิน | | | |
|------------|---------------|---------|---------|---------|
| | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 0.3 | 20.9700 | 20.7500 | 20.6600 | 20.8900 |
| 0.6 | 19.8500 | 20.3900 | 20.8800 | 20.9300 |
| 0.9 | 11.0400 | 14.1800 | 16.3900 | 20.2000 |
| 1.2 | 3.5600 | 5.5300 | 7.5900 | 9.2400 |
| 1.5 | 10.3400 | 12.1100 | 15.6000 | 16.6400 |
| 1.8 | 14.8500 | 15.9000 | 18.0100 | 18.9600 |
| 2.1 | 11.5900 | 12.7000 | 14.4500 | 16.2400 |
| 2.4 | 7.6700 | 8.7500 | 11.2100 | 14.3200 |
| 2.7 | 5.4500 | 7.0200 | 9.5100 | 12.3200 |
| 3.0 | 3.8200 | 6.9000 | 8.3300 | 10.8100 |

ตาราง ข-4 แสดงข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตา

| อุณหภูมิ | อากาศส่วนเกิน | | | |
|----------|---------------|----------|----------|----------|
| | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 0.47 | 716.6000 | 616.6667 | 407.6000 | 266.6667 |
| 0.74 | 803.8000 | 698.3333 | 465.4000 | 359.6667 |
| 1.01 | 777.8000 | 687.6667 | 554.0000 | 516.0000 |
| 1.34 | 778.8000 | 677.0000 | 587.0000 | 535.0000 |
| 1.55 | 742.2000 | 652.3333 | 591.4000 | 556.3333 |
| 1.87 | 723.4000 | 629.3333 | 574.0000 | 533.6667 |
| 2.17 | 698.6000 | 614.0000 | 561.4000 | 518.6667 |
| 2.38 | 674.4000 | 603.3333 | 552.2000 | 499.6667 |
| 2.67 | 630.2000 | 591.0000 | 531.2000 | 480.3333 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-5 แสดงข้อมูลมลพิษ CO และ NO ที่ปล่อยออกจากเตาเผา

| อากาศ ส่วนเกิน | มลพิษที่ปล่อยออกจากเตา | |
|-------------------|------------------------|-------|
| | NO | CO |
| 20 | 107.6 | 181.8 |
| 40 | 82.3 | 150.8 |
| 60 | 76.6 | 119.0 |
| 80 | 60.7 | 67.4 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สายฝน ละเลิศ และ พัชรา แสนเรือง. ปัญหาจากผักตบชวา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://buraphanews.blogspot.com>. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 กันยายน 2557).
- [2] โรงสีข้าวลาดกระบัง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://factory.thaidbs.com/provinces>. (วันที่ค้นข้อมูล : 4 เมษายน 2558).
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สถานการณ์พลังงานปี 2556 และแนวโน้มปี 2557. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/187>. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 กันยายน 2557).
- [4] V.I. Kuprianov , R. Kaewklum and S. Chakritthakul. 2011. Effects of operating conditions and fuel properties on emission performance and combustion efficiency of a swirling fluidized-bed combustor fired with a biomass fuel. Energy 36. Page 2038-2048.
- [5] นพพล เกตุประสาท. ผักตบชวา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://clgc.rdi.ku.ac.th/index.php/rs/weed/374-eichornia>. (วันที่ค้นข้อมูล : 10 พฤศจิกายน 2557).
- [6] โรงสีนราพิมล. แกลบ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://narapimon.com/product/แกลบ>. (วันที่ค้นข้อมูล : 7 เมษายน 2558).
- [7] D. GELDART. 1973. Types of Gas Fluidization. Powder Technology. Page 285-292.
- [8] สามารถ เวชศาสตร์. 2554. เทคโนโลยีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด. SOLAR ENERGY.
- [9] S. Pratumtip, S. Eiamsa-ard, V. Meeyu . 2546. การศึกษาการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชันในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบสองสถานะที่มีการปรับเปลี่ยนแผ่นกระจาย. วิศวกรรมมหาวิทาลัยขอนแก่น. ปีที่ 30. ฉบับที่ 3. หน้า 261-273.
- [10] ดร.รัชดาภรณ์ แก้วกล้า. 2014. การเผาไหม้ถ่านหิน. การเผาไหม้. หน้า 18-25.
- [11] สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. ทฤษฎีการเผาไหม้. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www2.dede.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 17 ธันวาคม 2557).
- [12] V.I. Koupryanov , W. Permchart. 2003. Emissions from a conical FBC fired with a biomass fuel. Applied Energy 74. Page 383–392.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Feng Duan , Chiensong Chyang , Yucheng Chin and Jim Tso. 2013. Pollutant emission characteristics of rice husk combustion in a vortexing fluidized bed incinerator. *Journal of Environmental Science*. Page 335-339.
- [14] ฐานิตย์ เมธิยานนธ์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และ สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. การพัฒนาเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไคซ์เบดสำหรับเชื้อเพลิงแกลบ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17.
- [15] ศูนย์การสื่อสารนานาชาติแห่งจุฬาฯ. ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php/ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน> (วันที่ค้นข้อมูล : 10 พฤศจิกายน 2557).
- [16] L.F. de Diego , C.A. Londonot , X.S. Wang and B.M. Gibbs. Influence of operating parameters on NO_x and N₂O axial profiles in a circulating fluidized bed combustor. *Fuel*. Vol. 75. No.8. Page 971-978.
- [17] Pichet Ninduangdee and Vladimir I. Kuprianov. 2014. Combustion of oil palm shells in a fluidized-bed combustor using dolomite as the bed material to prevent bed agglomeration. *Energy Procedia* 52. Page 399–409.
- [18] กษมา ศิริสมบูรณ์ และพงษ์ศักดิ์ เหลาทอง. 2557. การลดปริมาณแก๊สไนตริกออกไซด์เมื่อเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดโดยใช้เทคนิคการป้อนเชื้อเพลิงเป็นชั้น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28.
- [19] Ramadhansyah P. Ja, Mahyun A. Wb, Salwa M. Z. Mb, Abu Bakar B. Hc, Megat Johari M. Ac and Wan Ibrahim M. Hd. 2012. Thermal Analysis and Pozzolanic Index of Rice Husk Ash at Different Grinding Time. *Procedia Engineering*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้