

การศึกษาความเหมาะสมของประเภทเชื้อเพลิงชีวมวล
สำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

FEASIBILITY STUDY ON AGRICULTURAL FUEL
FOR PULVERIZED BIOMASS BURNER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเหมาะสมของประเภทเชื้อเพลิงชีวมวล
สำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

FEASIBILITY STUDY ON AGRICULTURAL FUEL
FOR PULVERIZED BIOMASS BURNER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY ON AGRICULTURAL FUEL
FOR PULVERIZED BIOMASS BURNER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING PROGRAM IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเหมาะสมของชนิดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

นายกิตติวัฒน์ วงศ์ปรากฏ 59010130

นายวิศาล ทองประชาญ 59011245

นางสาวสุชานันท์ ยิ้มณรงค์ 59011423

ผศ.ดร.ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น มีคัดเลือกจากชีวมวลที่เป็นพืชเศรษฐกิจ และชีวมวลที่สามารถจัดหาได้ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย โดยตัวอย่างที่นำมาศึกษามีดังนี้ แกลบ, ฟางข้าว, ใบและยอดอ้อย, ชานอ้อย, เหม้ามันสำปะหลัง, ลำต้นข้าวโพด, ชังข้าวโพด, เส้นใยปาล์ม, กะลาปาล์มและทะลายปาล์ม ในการคัดเลือกนี้มีปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ รวมถึงปัจจัยทางด้านเทคนิคเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น เงื่อนไขในการดำเนินงาน คือ จะคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลจากทั้งหมด 18 ชนิด ให้เหลือเพียง 3 ชนิด ผ่านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์และภูมิประเทศได้แก่ เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม มีคะแนนสูงที่สุด ตามลำดับ จากนั้นนำปัจจัยทางเทคนิคมาคัดเลือกเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ให้เหลือเพียง 1 ชนิด การทดสอบสมรรถนะการบดจะถูกออกแบบให้มีการปรับเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงเพื่อนำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 mm. และ 0.5 mm. พร้อมกัน และมีการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิง เพื่อหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เท่ากันของแต่ละชนิด ชีวมวลทั้ง 3 ชนิดจะถูกทดสอบสมรรถนะการบดเทียบกับเชื้อเพลิงอ้างอิง คือ ไม้ยางพาราอัดเม็ด ซึ่งมีการใช้พลังงานจำเพาะในการบดอยู่ในช่วง 15 – 30 kJ/kg อย่างไรก็ตามเส้นใย และทะลายปาล์มไม่สามารถลำเลียงผ่านสกรูลำเลียงได้ เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใย และมีน้ำหนักเบา จึงมีเพียงกะลาปาล์มเท่านั้นที่จะถูกนำไปทดสอบหาค่าพลังงานจำเพาะในการบด ขณะที่การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้และการศึกษาซีเฝ้าหลอมจะถูกทดสอบพร้อมกัน ภายใต้เงื่อนไข อัตราการเผาไหม้ 300 กิโลวัตต์ที่อากาศส่วนเกิน 15% เนื่องจากโรคระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดสอบได้จึงได้ทำการจำลองการเผาไหม้ในโปรแกรม Ansys Fluent โดยอ้างอิงงานวิจัยของปี 2562 ได้นำมาปรับเปลี่ยนเงื่อนไขขอบ โดยทำการศึกษาภายใต้อิทธิพลของค่าความร้อน อิทธิพลของค่าความชื้น และความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงตามสภาพที่ได้รับ พบว่าทั้งไม้ยางพาราและกะลาปาล์มมีสมรรถนะการเผาไหม้คล้ายๆกัน ในขณะที่ความชื้นของกะลาปาล์มส่งผลต่อการกระจายตัวอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้อย่างมาก อย่างไรก็ตามการรักษาระดับความชื้นของกะลาปาล์มให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะทำให้ประหยัดต้นทุนการผลิตความร้อนได้ การศึกษาการสะสมตัวของซีเฝ้าหลอมและซีเฝ้าลอยจะสรุปผลจากองค์ประกอบของเชื้อเพลิง พบว่าไม้ยางพารามีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมตัวของซีเฝ้ามากกว่ากะลาปาล์ม ดังนั้นจากการศึกษาทั้งหมดพบว่ากะลาปาล์ม ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY ON AGRICULTURAL FUEL FOR PULVERIZED BIOMASS BURNER

Kittiwath Wongprakot 59010130

Wisani Throngpracharn 59011245

Suchanan Yimnarong 59011423

Asst.Prof.Dr. Ponepen Laphirattanakul Advisor

Year 2019

ABSTRACT

This research aims to select the most suitable agricultural waste being a fuel for Pulverized biomass burner in lab-scale. Economical corns have been chosen based on convenient shipment in Thailand central area due to large number of industrial boiler utilization. From primary filtering, rice husk, straw, sugarcane leaves and shoots, bagasse, cassava rhizome, corn, corn cobs, palm fiber, palm shell and palm bunch were in list. The list would then be selected relying on criterion of economical and technical factors. The biomass ranking according to economical selection was palm fiber, palm shell and palm bunch, orderly. In grindability, one of technical factors, experiment has been designed in changing type of fuel on grinding process through a hammer mill with perforate size of 1 mm. and 0.5 mm. To provide the same flow rate of raw feeding, the selected biomasses were calibrated with screw feed. Result showed that palm bunch and fiber could not transport by screw feed due to having low bulk density, thus only palm shell. In grindability test, specific energy consumption could be conducted just for the rubber wood (base case) because of COVID-19 pandemic. It was 15-30kJ/kg. Consequently, study on combustion performance was instead conducted via simulation software, Ansys Fluent, at 300kW burning rate and 15% excess air. The available model was carefully considered from previous study to put a new boundary condition for base case and palm shell. It was found that under the same moisture, burning characteristics of para-wood and palm shell was similar. While moisture content gave significantly change in temperature distribution. However, by keeping the moisture in appropriate level, palm shell could provide the desirable combustion with the lowest operating cost. The study on the accumulation of slagging and fouling could be concluded from the fuel composition. It was found that rubberwood tended to accumulate ash more than palm shells. Therefore, palm shell with moisture controlling was the best selection in this study.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา คำสั่งสอน และความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาณุเพ็ญ ลภีรัตนากุล อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คณะผู้จัดทำ รุสีกษาบซึ่งในความอนุเคราะห์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตราภรณ์ วงศาางาม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา เจริญพรพานิชย์ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เฝ้าเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และให้ทุนทรัพย์ในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนประสบความสำเร็จ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการฟันฝ่าปัญหาและอุปสรรคต่างๆ เสมอมา และขอขอบคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนทุกท่านที่ได้เอื้อนามมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 องค์ประกอบของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	
3.1 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass).....	9
3.1.1 ชนิดของชีวมวลที่มีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิง.....	10
3.2 องค์ประกอบของชีวมวล.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดอ้างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.3 ปัญหาการนำชีวมวลไปใช้เพื่อผลิตพลังงาน.....	18
3.3.1 ความชื้น.....	18
3.3.2 ความหนาแน่นรวม.....	18
3.3.3 องค์ประกอบของเถ้าชีวมวล.....	18
3.3.4 สารระเหย.....	19
3.4 ปัญหาการหลอมเหลวซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลที่ปริมาณโพแทสเซียมสูง.....	19
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	19
3.5.1 แฮมเมอร์มิล (hammer mill).....	19
3.5.2 วาล์วควบคุมการไหลของอากาศ.....	20
3.5.3 ปั้มน้ำอัตโนมัติและปั้มหอยโข่ง.....	20
3.5.4 โรตารีเตอร์.....	21
3.5.5 เทอร์โมคัปเปิ้ล.....	21
3.5.6 อินเวอร์เตอร์.....	22
3.5.7 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์(Programmable logic ControlPLC).....	22
3.5.8 แผ่นออริฟิส (orifice plate).....	23
3.5.9 ทอร์บายความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท.....	25
3.6 ทฤษฎีการเผาไหม้ (Combustion Theory).....	25
3.6.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน.....	27
3.6.2 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน.....	27
3.6.3 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง.....	28
3.7 สมการที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.7.1	แบบจำลองความปั่นป่วน turbulent model.....	29
3.7.2	สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation).....	30
3.7.3	แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion model).....	30
3.7.4	แบบจำลองการแผ่ความร้อน (Radiation model).....	31
3.8	Swirl number.....	33
บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย		
4.1	ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์.....	36
4.1.1	ขั้นตอนการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวล.....	36
4.2	ปัจจัยทางเทคนิค.....	38
4.2.1	การทดลองสมรรถนะการบด.....	38
4.2.1.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
4.2.1.2	วิธีการทดลอง.....	40
4.2.1.3	การคำนวณพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวล (Specific energy consumption).....	42
4.2.2	การทดลองสมรรถนะการเผาไหม้.....	44
4.2.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
4.2.2.2	การทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง.....	49
4.2.2.3	การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี.....	49
4.2.3	การทดลองการเกิดซี้ถ้าลอยและซี้ถ้าลอม.....	54

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 ผลการทดลอง

5.1 ผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์.....	55
5.2 ผลการทดลองสมรรถนะการบิด.....	67
5.2.1 ผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบิด.....	67
5.2.2 ผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบิดเชื้อเพลิง.....	71
5.3 ผลการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้.....	74
5.3.1 อิทธิพลของค่าความร้อน.....	77
5.3.2 อิทธิพลของความชื้น.....	80
5.3.3 ความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงตามสภาพที่ได้รับ.....	84
5.4 ผลการศึกษาการสะสมตัวของขี้เถ้าลอยและขี้เถ้าหลอม.....	90

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	91
6.2 สรุปผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางเทคนิค.....	91
6.2.1 การทดสอบสมรรถนะการบิด.....	91
6.2.2 การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้.....	92
6.2.3 การสะสมตัวของขี้เถ้าหลอมและขี้เถ้าลอย.....	93

เอกสารอ้างอิง.....94

ภาคผนวก ก การตั้งค่าโปรแกรม Ansys Fluent.....97

ประวัติผู้เขียน.....109

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของชีวมวลและถ่านหิน.....	17
ตารางที่ 3.17 ตารางแสดงอุณหภูมิช่วงการวัดของแต่ละ type.....	21
ตารางที่ 4.1 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบดของแต่ละเชื้อเพลิง.....	40
ตารางที่ 4.2 ตารางเก็บผลการทดลองสมรรถนะการบดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....	41
ตารางที่ 4.3 แสดงกำลังไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ ที่ทำการทดลองการบด.....	42
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดเม็ด.....	52
ตารางที่ 4.5 ตารางเก็บผลการทดลองการเกิดขี้เถ้าลอยและขี้เถ้าหลอม	54
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย....	56
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละจังหวัดภายในภาคกลาง.....	57
ตารางที่ 5.3 แสดงราคาของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดในปี พ.ศ.2561	61
ตารางที่ 5.4 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของราคาชีวมวลเป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน.....	61
ตารางที่ 5.5 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของความสามารถในการจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปีของชีวมวลเป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน.....	62
ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น (MJ/kg) ของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด....	63
ตารางที่ 5.7 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น (MJ/kg.%ความชื้น) เป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน.....	63
ตารางที่ 5.8 แสดงปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม (%) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....	64
ตารางที่ 5.9 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม (%) เป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน.....	64
ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงคะแนนเต็ม 10 คะแนนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด.....	65
ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงคะแนนเต็ม 100 คะแนนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 5.12 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดของไม้ยางพารา.....	67
ตารางที่ 5.13 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดของกะลาปาล์ม.....	67
ตารางที่ 5.14 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดของทะเลยาปาล์ม.....	68
ตารางที่ 5.15 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดของเส้นใยปาล์ม.....	68
ตารางที่ 5.16 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของไม้ยางพารา.....	72
ตารางที่ 5.17 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของกะลาปาล์ม.....	72
ตารางที่ 5.18 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของทะเลยาปาล์ม.....	73
ตารางที่ 5.19 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของเส้นใยปาล์ม.....	73
ตารางที่ 5.20 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้.....	77
ตารางที่ 5.21 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด ไม้ยางพารา และกะลาปาล์ม.....	78
ตารางที่ 5.22 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้.....	81
ตารางที่ 5.23 แสดงคุณสมบัติของกะลาปาล์มที่ความชื้น 5.81%, 30% และ 58%.....	82
ตารางที่ 5.24 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้.....	86
ตารางที่ 5.25 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด ไม้ยางพารา และกะลาปาล์ม.....	87
ตารางที่ 5.26 แสดงค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดภายใน 1 ปี.....	89

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 um ของพอลาร์ในความหนาแน่นที่ แตกต่างกัน (600g/m^3 , 800g/m^3 , 1000g/m^3).....	4
รูปที่ 2.2 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 um ของต/นสนในความหนาแน่นที่ แตกต่างกัน (600g/m^3 , 800g/m^3 , 1000g/m^3).....	5
รูปที่ 2.3 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 um ของถั่วลิสงในความหนาแน่นที่ แตกต่างกัน (600g/m^3 , 800g/m^3 , 1000g/m^3).....	5
รูปที่ 2.4 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 um ของข/วโพดในความหนาแน่นที่ แตกต่างกัน (600g/m^3 , 800g/m^3 , 1000g/m^3).....	5
รูปที่ 2.5 (a) แผนผังแสดงวิธีการทดลอง (b) แผนผังวิธีการจับภาพการเผาไหม้ของอนุภาคเดี่ยว.....	6
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความเร็วของอนุภาคชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ในฟังก์ชันของเวลา โดยมี ไม้สน (PW), ฟางข้าว (WS), แกลบ (RH), กากอุงุ่น (GP).....	6
รูปที่ 2.7 แสดงค่าพลังงานใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งสี่ชนิดที่ผ่านการบดโดยใช้ตะแกรง คนละขนาด (19.05, 25.40, 31.75 (mm.)) และความชื้นที่แตกต่างกัน (0.09, 0.12, 0.15(w.b.)).....	7
รูปที่ 2.8 แสดงค่าปริมาณงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งสี่ชนิดที่ผ่านการบดโดยการ ใช้ตะแกรงคนละขนาด (19.05, 25.40, 31.75 (mm.)) และความชื้นที่แตกต่างกัน (0.09, 0.12, 0.15 (w.b.)).....	7
รูปที่ 3.1 แกลบ.....	10
รูปที่ 3.2 ฟางข้าว.....	10
รูปที่ 3.3 เหม่งมันสำปะหลัง.....	11
รูปที่ 3.4 ชานอ้อย.....	11
รูปที่ 3.5 ใบและยอดอ้อย.....	12
รูปที่ 3.6 ชังข้าวโพด.....	12
รูปที่ 3.7 ต้นข้าวโพด.....	13
รูปที่ 3.8 กะลาปาล์ม.....	13

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 3.9 เส้นใยพาล์ม.....	14
รูปที่ 3.10 ทะลายพาล์ม.....	14
รูปที่ 3.11 กลไกการเกิดฝ้าจากการเผาไหม้ชีวมวล.....	18
รูปที่ 3.12 เครื่องบดแสมเมอร์มิล.....	20
รูปที่ 3.14 ป้อนน้ำอัตโนมัติ.....	20
รูปที่ 3.15 ป้อนน้ำหอยโข่ง.....	20
รูปที่ 3.16 โรตารีเมตร.....	21
รูปที่ 3.18 เทอร์โมคัปเปิ้ล type K.....	22
รูปที่ 3.19 เทอร์โมคัปเปิ้ล type R.....	22
รูปที่ 3.20 อินเวอร์เตอร์.....	22
รูปที่ 3.21 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC).....	23
รูปที่ 3.22 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	23
รูปที่ 3.23 แผ่นออริฟิส (orifice plate).....	24
รูปที่ 3.24 (a) Counterflow Cooling Tower (b) Crossflow Cooling Tower.....	25
รูปที่ 3.25 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิง.....	26
รูปที่ 4.1 แสดงแบบสอบถามโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับปัจจัยในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงชีวมวล.....	37
รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์ของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง.....	37
รูปที่ 4.3 แสดง ก.ไซโลเก็บเชื้อเพลิงที่ยังไม่ผ่านการบด ข. เครื่องบดเชื้อเพลิง.....	39
รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า YOKOGAWA รุ่น CW240.....	39
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองที่มีอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงที่ 0.6 Hz ครั้งที่ 1.....	43
รูปที่ 4.6 แสดงอุปกรณ์ของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง.....	44

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4.7 แสดงห้องเผาไหม้ช่วยและภาพตัดภายในของห้องเผาไหม้ช่วย.....	44
รูปที่ 4.8 แสดงทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้ช่วย.....	45
รูปที่ 4.9 ห้องเผาไหม้หลัก.....	45
รูปที่ 4.10 เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด R.....	45
รูปที่ 4.11 อุปกรณ์วัดองค์ประกอบแก๊ส Testo 330-2LL.....	46
รูปที่ 4.12 (ก) เครื่องเป่าลม (FD Fan) (ข) เครื่องเป่าลมแบบดูด	46
รูปที่ 4.13 แสดง ก.คอนโทรลวาล์ว ข.แผ่นออริฟิส ค. Differential pressure sensor.....	47
รูปที่ 4.14 แสดงอินเวอร์เตอร์.....	47
รูปที่ 4.15 โปรแกรมควบคุมหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น.....	47
รูปที่ 4.16 ชุดควบคุม PLC.....	48
รูปที่ 4.17 แสดง ก.หอบำบัดเปียก ข.หอดึงเย็น.....	48
รูปที่ 5.1 แสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย ปี พ.ศ.2561.....	56
รูปที่ 5.2 แสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละจังหวัดภายในภาคกลาง ปี พ.ศ.2561.....	57
รูปที่ 5.3 แสดงจำนวนชีวมวลที่ผลิตภายในปี พ.ศ. 2561 บริเวณภาคกลางและจังหวัดรอบๆ ภาคกลาง.....	58
รูปที่ 5.4 แบบสอบถามเรื่องปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงาน.....	59
รูปที่ 5.5 แสดงอัตราส่วนของภูมิภาคที่ตั้งของโรงงานที่ได้ทำแบบสอบถาม.....	60
รูปที่ 5.6 แผนภูมิแสดงอัตราส่วนของตัวแปรที่ใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวล.....	60
รูปที่ 5.7 ปฏิทินชีวมวลของปีพ.ศ 2561.....	62
รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s).....	69

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 5.9 ทะลายปาล์มที่ไม่สามารถผ่านสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงลงสู่เครื่องบดได้.....	70
รูปที่ 5.10 เส้นใยปาล์มที่ไม่สามารถผ่านสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงลงสู่เครื่องบดได้.....	70
รูปที่ 5.11 Power meter ที่ทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงขณะทำการทดลอง.....	71
รูปที่ 5.12 แสดงแบบจำลองห้องเผาไหม้ 3 มิติ.....	74
รูปที่ 5.13 แสดงแบบจำลองห้องเผาไหม้ 2 มิติ และส่วนประกอบ.....	74
รูปที่ 5.14 แสดงการแบ่งกริดของห้องเผาไหม้แบบ 2 มิติ.....	75
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผา (m) กับอุณหภูมิ (K).....	75
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผา (m) กับความเร็วในห้องเผาไหม้ (m/s).....	75
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผา (m) กับอุณหภูมิ (K) ของการจำลอง (CFD) และการทดลองการเผาไหม้จริง (EXP).....	76
รูปที่ 5.18 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม.....	79
รูปที่ 5.19 แสดงสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม.....	79
รูปที่ 5.20 แสดงความเร็วภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม.....	79
รูปที่ 5.21 แสดงทิศทางการไหลภายในห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-Chamber).....	80
รูปที่ 5.22 แสดงความเร็วภายในห้องเผาไหม้ของกะลาปาล์มที่ความชื้นต่างกัน ก) ความชื้น 5.81% ข) ความชื้น 30% ค) ความชื้น 58%.....	83
รูปที่ 5.23 แสดงสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ของกะลาปาล์มที่ความชื้นต่างกัน ก) ความชื้น 5.81% ข) ความชื้น 30% ค) ความชื้น 58%.....	83
รูปที่ 5.24 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของกะลาปาล์มที่ความชื้นต่างกัน ก) ความชื้น 5.81% ข) ความชื้น 30% ค) ความชื้น 58%.....	84
รูปที่ 5.25 แสดงค่าความชื้นของไม้ยางพาราอัดเม็ดที่วัดจากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทำการทดลอง.....	85
รูปที่ 5.26 แสดงค่าความชื้นของกะลาปาล์มก่อนบดที่วัดได้จากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทำการทดลอง.....	85

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 5.27 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม.....	88
รูปที่ 5.28 แสดงความเร็วภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม.....	88
รูปที่ 5.29 แสดงสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม.....	89



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษาความเหมาะสมของชนิดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตการวิจัย รวมถึงขั้นตอนของการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโลกของเรามีความต้องการใช้พลังงานและมีแนวโน้มการใช้ที่มากขึ้นในทุกปี ในปัจจุบันความต้องการของมนุษย์ส่วนทางกับทรัพยากรที่มีกล่าว คือ ทรัพยากรกำลังจะหมดไป รวมทั้งปัญหาเรื่องปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse effect) จากปัญหาดังกล่าวและราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้น หลายคนหันมาให้ความสนใจการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนแทนการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองพลังงานหมุนเวียนมีความหลากหลายของเทคโนโลยีค่อนข้างมากและสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมไม่มากนักเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานอื่น เช่น น้ำมันและถ่านหิน

ในประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่สภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ จาก 145.5 ล้านตัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปี 2541 เป็น 260.3 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.0 ต่อปี โดยในปี 2561 มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1 ส่งผลให้มีการ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 จากข้างต้นจะเห็นว่าประเทศไทยมีการใช้พลังงานมากขึ้น ในปัจจุบันรัฐบาลมีมาตรการที่จะลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานทางเลือกจึงเป็นตัวเลือกที่สอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐเนื่องจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่มีการหมุนเวียนไม่มีวันหมดและยังมีการค้นพบว่าถ้าการเผาไหม้ของสารชีวมวลนั้นจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จริงแต่ถ้าปริมาณคาร์บอนเกือบทั้งหมดในเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับปริมาณพลังงานที่เชื้อเพลิงนั้นได้รับ ข้อพิสูจน์ว่าสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับศูนย์นั้นอาศัยหลักที่ว่าพืชเหล่านั้นจะถูกเพาะปลูกขึ้นอีกครั้งหนึ่งโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกพืชนำไปใช้แทนหลักการนี้ใช้ได้กับระบบการปลูกต้นไม้ที่เหมาะสม

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการหาความเหมาะสมของชนิดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่นเพื่อมาทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าโดยสามารถลดปริมาณขยะรวมทั้งเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือใช้ทางการเกษตร โดยคำนึงจากราคาของเชื้อเพลิงชีวมวล (บาท/ตัน), ค่าความร้อน (dry basis), ความสามารถในการ

จัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปี, ความสามารถในการบด รวมถึงการเกิดขี้เถ้าหลอมและขี้เถ้าลอย (Slagging&Fouling)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 รวบรวมข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์และเทคนิคของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
- 1.2.2 คัดเลือกเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่นระดับห้องปฏิบัติการ
- 1.2.3 ศึกษาความสามารถในการบด
- 1.2.4 ศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ
- 1.2.5 ศึกษาการเกิดและการสะสมตัวของขี้เถ้าหลอมและขี้เถ้าลอย (Slagging & Fouling)

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 ชีวมวลที่มีเส้นใยมากจะทำให้มีความเหนียวทำให้เป็นชิ้นเล็กได้ยาก และมีอัตราการบริโภคไฟฟ้าต่อเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัมสูง
- 1.3.2 ชีวมวลที่มีส่วนประกอบของโพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) มากกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้งจะมีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะเกิดการสะสมตัวของขี้เถ้าหลอมและขี้เถ้าลอย

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ใช้เชื้อเพลิงชนิดที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมในเขตภาคกลาง
- 1.4.2 ใช้เครื่องบดแฮมเมอร์มิล (hammer mill) บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร
- 1.4.3 ควบคุมกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไม่เกิน 30 แอมแปร์ เนื่องจากป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมในเครื่องบด
- 1.4.4 ใช้หัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น (Pulverized biomass burner)
- 1.4.5 ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 15%
- 1.4.6 สมรรถนะการเผาไหม้ได้แก่ เสถียรภาพของเปลวไฟ การกระจายตัวของอุณหภูมิ และองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย (O_2 , CO , NO_x)
- 1.4.7 การเกิดและการสะสมตัวของขี้เถ้าและเถ้าลอยเปรียบเทียบจากปริมาณธาตุโพแทสเซียมในขี้เถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.5.1 รวบรวมข้อมูลของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย
- 1.5.2 คัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลเพียงเชื้อเพลิงที่หาได้ในภาคกลาง
- 1.5.3 คัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชเศรษฐกิจ
- 1.5.4 รวบรวมข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด
- 1.5.5 ทำแบบสอบถามเพื่อจะทราบถึงความสำคัญของแต่ละปัจจัยในการคัดเลือกเชื้อเพลิง เพื่อที่จะให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยในการคัดเลือกเชื้อเพลิง
- 1.5.6 คิดอัตราส่วนน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ข้อมูลจากแบบสอบถาม
- 1.5.7 จัดลำดับคะแนนของเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อคัดเลือกให้เหลือเพียง 3 ชนิด
- 1.5.8 ศึกษาทฤษฎีสมรรถนะการเกิดการเกิดและสะสมตัวของชี้ไถ้เพื่อนำมาออกแบบการทดลอง
- 1.5.9 นำเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดมาทดลองสมรรถนะการบด
- 1.5.10 นำเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบสมรรถนะการบดมาทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ (เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ จึงทำการจำลองการเผาไหม้ผ่านโปรแกรม Ansys Fluent) และเก็บตัวอย่างของชี้ไถ้จากการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ (สรุปผลจากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแทนเนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้)
- 1.5.11 จัดลำดับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เป็นแนวทางในการเลือกเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น
- 1.6.2 ช่วยลดการเกิดปัญหาชี้ไถ้เกาะภายในห้องเผาไหม้ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้หัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น
- 1.6.3 เป็นแนวทางในการลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน
- 1.6.4 เป็นแนวทางในการช่วยลดการสร้างมลภาวะทางอากาศ
- 1.6.5 สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
- 1.6.6 เป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง

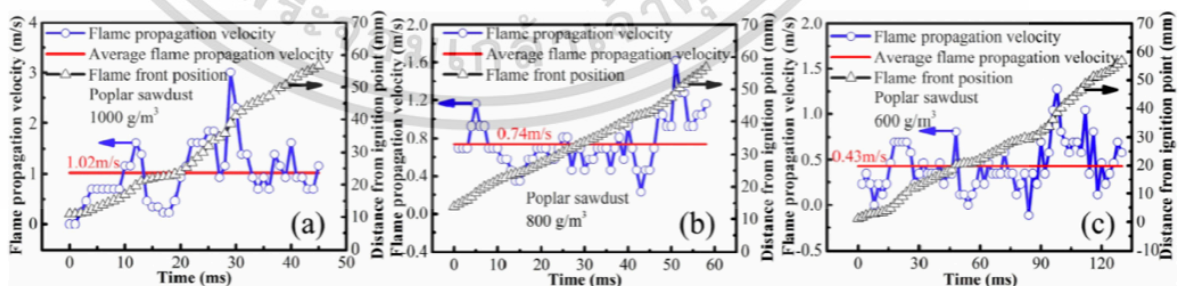
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

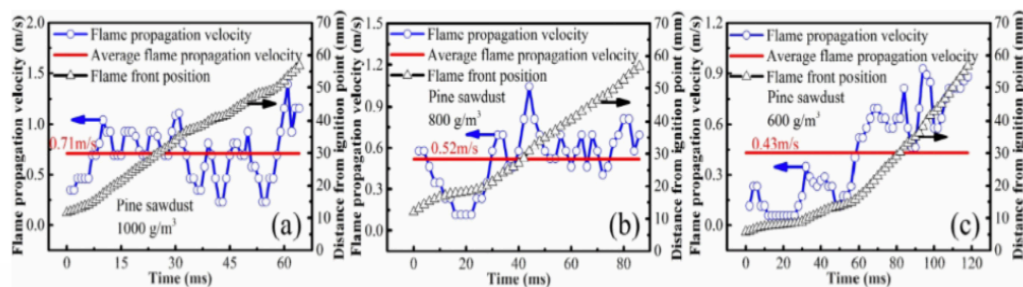
จากบทที่หนึ่งทำให้เราได้ทราบถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้น ให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษา ความเหมาะสมของชนิดเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่นรวมถึงการศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้ การศึกษาความสามารถในการบดของเชื้อเพลิงชีวมวล และการศึกษาซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าล่อย(Slagging & Fouling) ที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาของหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น เพื่อลดปัญหาการเกาะตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าล่อย(Slagging & Fouling) และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้หัวเผาชีวมวลแบบฝุ่นด้วย นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นที่จะศึกษาให้ทราบถึงอิทธิพลของเงื่อนไขต่างๆที่ส่งผลต่ออัตราการสะสมของซี้เถ้าบนพื้นผิวอุปกรณ์จากปัญหาซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าล่อย (Slagging & Fouling) ที่เกิดขึ้นนี้ทำให้นักวิจัยด้านพลังงานทดแทนหันมาสนใจในการเกาะตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าล่อย (Slagging & Fouling) ที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งทางผู้ศึกษาต้องศึกษางานวิจัยที่มีผู้ทำมาก่อนเพื่อให้ทราบถึงแนวคิดสมบัติและปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่ออัตราการสะสมของซี้เถ้าบนพื้นผิวอุปกรณ์นอกจากนี้ยังป้องกันการละเมิดสิทธิบัตรของนักวิจัยท่านอื่น ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้นักวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้ศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่คุณวิจัยกำลังศึกษามากมาย อาทิ เช่น

Haipeng Jiang et al. [15] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะเปลวไฟ เมื่อเผาชีวมวลโดยเผา 4 ชนิด คือ พอปลาร์, สน, ถั่วลิสง, ข้าวโพด โดยแบ่งเป็น 2 ขนาด คือ 50-70 μm , 100-200 μm โดยนำมาเผาจากนั้นสังเกตเปลวไฟด้วย SEM พบว่าเมื่อความเร็วในการแพร่เปลวไฟ (flame propagation velocity) จะแปรตามความหนาแน่น (600 g/m^3 , 800 g/m^3 , 1000 g/m^3) กล่าวคือเมื่อความหนาแน่นมาก ความเร็วในการแพร่เปลวไฟก็จะมากด้วย

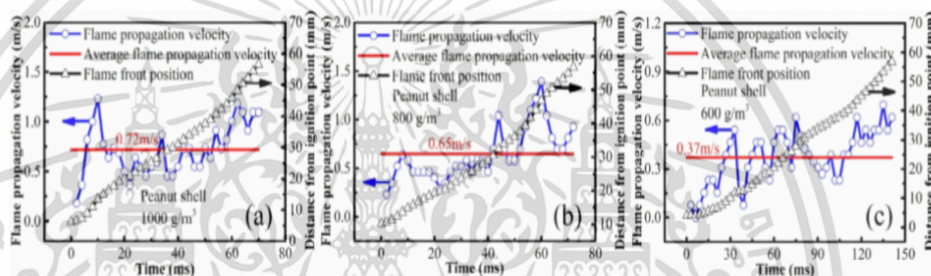


รูปที่ 2.1 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 μm ของพอปลาร์ในความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (600 g/m^3 , 800 g/m^3 , 1000 g/m^3)

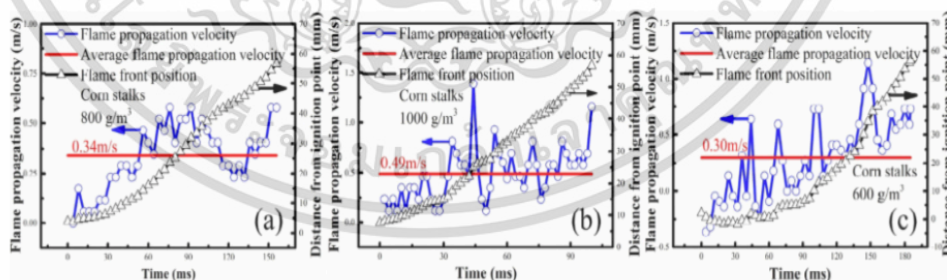
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 μm ของต้นสนในความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (600 g/m^3 , 800 g/m^3 , 1000 g/m^3)



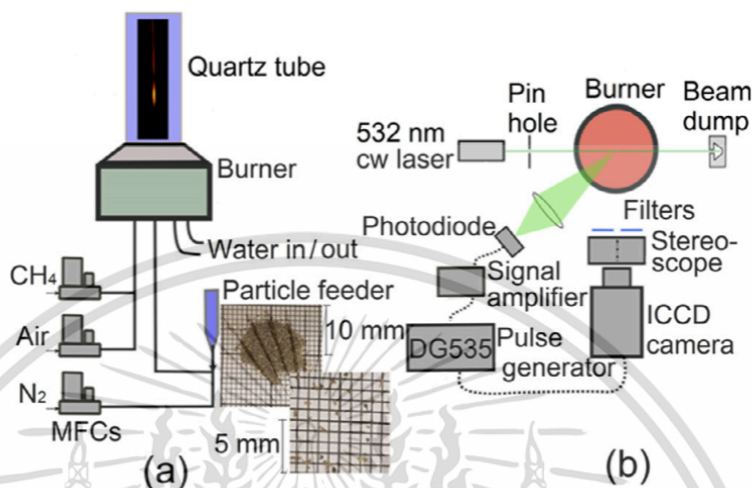
รูปที่ 2.3 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 μm ของถั่วลิสงในความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (600 g/m^3 , 800 g/m^3 , 1000 g/m^3)



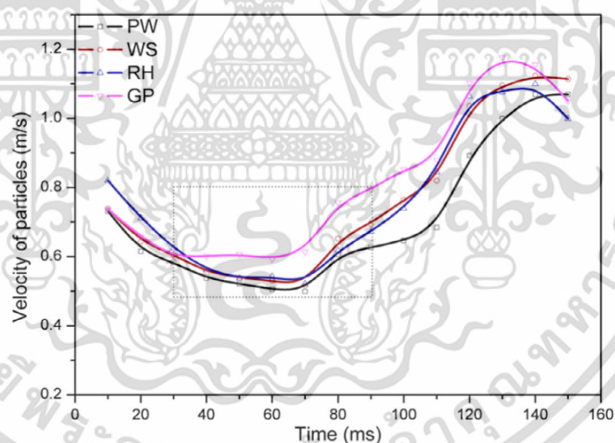
รูปที่ 2.4 ความเร็วในการแพร่เปลวไฟของอนุภาคขนาด 50-70 μm ของข้าวโพดในความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (600 g/m^3 , 800 g/m^3 , 1000 g/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wubin Weng et al. [16] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการเผาไหม้ของ ไม้สน ฟางข้าว แกลบ และกากองุ่น ซึ่งมีขนาด 224-250 ไมครอน ถูกฉีดเข้าสู่พื้นที่จำกัด การเผาไหม้จะทำที่อุณหภูมิ 1610 K และความเข้มข้นของ O_2 เฉลี่ยที่ 6.5% ด้วยชุดอุปกรณ์ และเก็บค่าจากกล้องที่จับค่าการแผ่รังสี



รูปที่ 2.5 (a) แผนผังแสดงวิธีการทดลอง (b) แผนผังวิธีการจับภาพการเผาไหม้ของอนุภาคเดียว

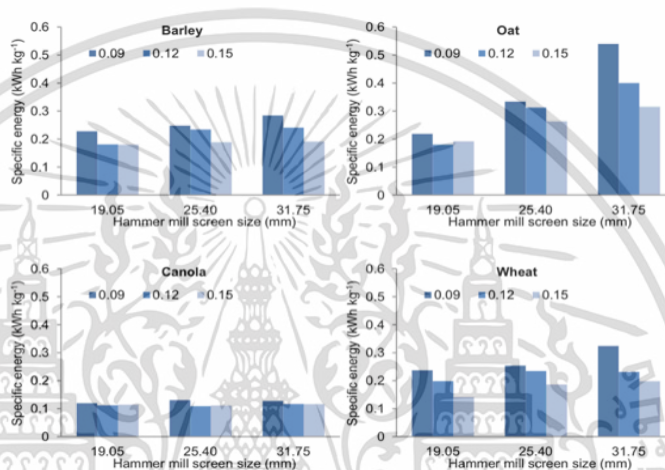


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความเร็วของอนุภาคชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ในฟังก์ชันของเวลา โดยมี ไม้สน (PW), ฟางข้าว (WS), แกลบ (RH), กากองุ่น (GP)

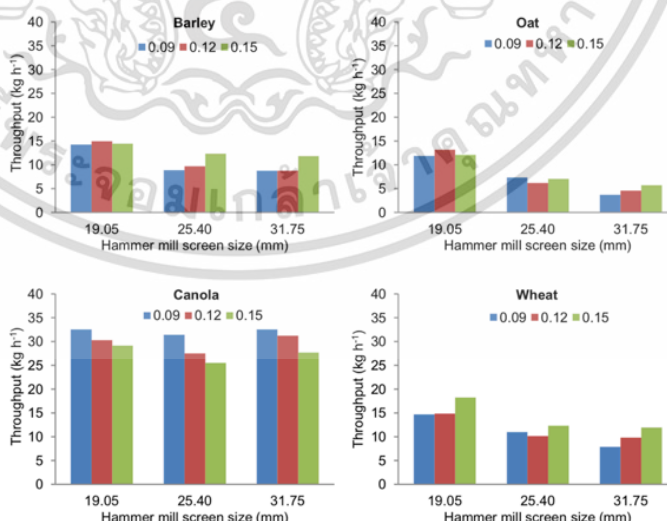
จากการสังเกตการแผ่รังสีของความร้อนแสดงให้เห็นว่าชีวมวลทุกชนิดมีปฏิกิริยาการออกซิเดชันที่ต่างกัน ในกรณีของแกลบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการเผาไหม้ของสารระเหย ในขณะที่กรณีของฟางข้าว ไม้สน และกากองุ่น จะเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ของสารระเหยจนถึงสิ้นสุดการเผาไหม้ของสารระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lei Guo et al. [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล (0.09, 0.12, 0.15 (w.b.)) และเครื่องบดแฮมเมอร์มิล (โดยใช้ตะแกรงขนาด 19.05, 25.40, 31.75 (mm.)) กับคุณลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งหมด 4 ชนิด คือ บาร์เลย์ โอ๊ต คาโนลา และฟางข้าวสาลีอัดก้อน โดยใช้เวลาเผา 6-10 นาที โดยอธิบายไว้ว่า เมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงที่ปริมาณความชื้นแตกต่างกันโดยเชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นมากจะทำให้พลังงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงนั้นลดลง และทำให้ค่าของปริมาณงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นคาโนลาที่มีค่าลดลง นอกจากนี้ปริมาณความชื้นที่มีค่าสูงจะส่งผลทำให้ค่าแรงดันอัดในเชื้อเพลิงอัดก้อนนั้นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.7 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งสี่ชนิดที่ผ่านการบดโดยใช้ตะแกรงคนละขนาด (19.05, 25.40, 31.75 (mm.)) และความชื้นที่แตกต่างกัน (0.09, 0.12, 0.15 (w.b.))



รูปที่ 2.8 แสดงค่าปริมาณงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งสี่ชนิดที่ผ่านการบดโดยการ ใช้ตะแกรงคนละขนาด(19.05, 25.40, 31.75 (mm.)) และความชื้นที่แตกต่างกัน (0.09, 0.12, 0.15 (w.b.))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cai Yongtie et al. [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดและสะสมของซี้เถ้า โดยกว่าไว้ว่าการเกิดและสะสมตัวของซี้เถ้านั้นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีและอุณหภูมิที่ใช้ขณะทำการทดลองซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ได้อย่างเต็มที่เนื่องจากกระบวนการเกิดและสะสมตัวของซี้เถ้านั้นซับซ้อน จึงได้มีการพัฒนารูปแบบกลไกขึ้นมาเพื่อทำนายการเกิดและสะสมของซี้เถ้าในหม้อน้ำ พฤติกรรมของการเกิดและการสะสมตัวของซี้เถ้าในหม้อน้ำเป็นกุญแจสำคัญในการออกแบบหม้อน้ำและการเลือกใช้เชื้อเพลิง และได้กล่าวอีกว่าส่วนประกอบทางเคมีที่ทำให้เกิดซี้เถ้าลายนั้น คือ ปริมาณของโลหะอัลคาไลน์ในเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมีส่วนประกอบของโลหะอัลคาไลน์มากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล ตัวแปรที่ทำให้เกิดซี้เถ้าลอมมากที่สุด คือ ปริมาณของโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) ในเชื้อเพลิง ปริมาณของโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) ในเชื้อเพลิงสามารถลดจุดหลอมเหลวของซี้เถ้าได้ และเป็นแนวโน้มที่จะทำให้เกิดซี้เถ้าลอมและซี้เถ้าลอม (Slagging & Fouling) ในหม้อน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้ศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ในเรื่องของสมรรถนะการเผาไหม้ ถ้าหาก มีความหนาแน่นมากจะทำให้ความเร็วในการแพร่ของเปลวไฟนั้นมากขึ้นตามไปด้วย ในเรื่องของสมรรถนะของการบด ปริมาณของความชื้นในเชื้อเพลิงส่งผลให้พลังงานที่ใช้การบดนั้นลดลง เมื่อมีปริมาณความชื้นมาก และปริมาณความชื้นที่มีค่าสูงจะส่งผลทำให้ค่าแรงดันอัดในเชื้อเพลิงอัดก้อนนั้นมีค่าสูงขึ้น และในเรื่องของการเกิดและสะสมตัวของซี้เถ้านั้นสามารถสรุปได้ว่า ส่วนประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงส่งผลให้เกิดการเกิดและสะสมตัวของซี้เถ้า โดยส่วนประกอบทางเคมีที่ว่ามานั้น คือ ปริมาณของโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) ในส่วนของการศึกษาข้างต้นเป็นแนวทางให้ผู้ศึกษานำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งได้แก่ องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล สมรรถนะของ การบด ทฤษฎีเบื้องต้นของการเผาไหม้ รวมถึงทฤษฎีของการเกิดและสะสมตัวของ ชีวแก๊สภายในห้องเผาไหม้ และในส่วนถัดมาจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น และ อุปกรณ์ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ

3.1 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass)

ชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรหรือ กากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด และทะเลสาปาล์ม เป็นต้น การจะนำเชื้อเพลิงมาศึกษาจะต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิงก่อนเพื่อให้มี ลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไป ใช้งานโดยสิ่งที่จะต้องเตรียมมีดังนี้ ความชื้น ขนาด ของเชื้อเพลิง เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงชีวมวลนี้จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการการเผาไหม้ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ ได้จากกระบวนการด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบ และคุณสมบัติของชีว มวลเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำมาคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมกับหัวเผา

เชื้อเพลิงชีวมวลที่จำแนกตามสมบัติสามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้ [3]

1. เชื้อเพลิงไม้ และไม้ยืนต้น เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ไม้จากการรื้อถอน
2. พืชล้มลุก (herbaceous biomass) เช่น ฟางหญ้า หญ้า และลำต้นข้าวโพด
3. ของเสีย เช่น กากตะกอนจากน้ำเสีย เชื้อเพลิงขยะ (RDF) เป็นต้น
4. ของเสียจากอุตสาหกรรม
5. พืชน้ำ (aquatic plant)
6. พืชพลังงาน (energy crop)

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงชีวมวลอาจแบ่งออกได้สองกลุ่มใหญ่ คือ 1) ผลิตภัณฑ์ของเสีย และ 2) พืชพลังงาน ผลิตภัณฑ์ของเสียจะรวมถึง ชีวแก๊ส ไม้ ชั้เลื่อย ไม้ ชั้สับ ไม้ท่อน และเปลือกไม้ วัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตร เช่น เปลือกข้าว ชุยมะพร้าวและใบข้าวโพด หญ้า ของเสียจากเทศบาล และโรง งาน อุตสาหกรรม เช่น ของแข็งเสียจากเทศบาล (municipal solid waste, MSW) เชื้อเพลิงขยะ (refuse - derived fuel, RDF) สำหรับพืชพลังงาน หมายถึง พืชที่สามารถนำส่วนใดส่วนหนึ่งมาใช้เป็น เชื้อเพลิงได้ ซึ่งเป็นการใช้พลังงานจากพืชนั้นถือเป็นพลังงานสะอาด และมีการหมุนเวียนเกิดขึ้นใหม่ ตลอดเวลา หรือที่เราเรียกว่าพลังงานชีวมวลไม้ยืนต้นโตเร็ว เช่น กระจับปักษ์ เป็นต้น และพืชล้มลุก จำพวกหญ้า พืชเหล่านี้เติบโตได้เร็วมาก ดังนั้น จึงสามารถป้อนเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวล อย่างสม่ำเสมอ

3.1.1 ชนิดของชีวมวลที่มีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของชีวมวลที่นำมาศึกษาคัดเลือกมาจากชีวมวลที่มีอยู่ในประเทศไทยและมีผลผลิตอยู่ในบริเวณภาค กลางของประเทศไทย จากนั้นคัดเลือกให้เหลือเพียงพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งมีดังนี้

1. แกลบ [4]

แกลบ เป็นส่วนที่ได้จากการสีข้าว เป็นส่วนผสมของเปลือก เมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และข้าวเมล็ด โดยโรงสีสามารถนำแกลบมาใช้ประโยชน์ได้หลายลักษณะ เช่น นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือแปรรูปเป็นพลังงานที่มีมูลค่าเพิ่มได้ เช่น การอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงเพื่อใช้แทนฟืนหรือถ่าน การแปรรูปโดยใช้ กรรมวิธีที่เรียกว่า การกลั่นสลาย (pyrolysis) เพื่อให้ได้ก๊าซ และน้ำมัน การแปรรูปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง (gasification) แกลบเป็นสารอินทรีย์อย่างหนึ่งที่ไม่เน่าสลาย และมีค่าความร้อนสูงพอที่จะเป็นเชื้อเพลิงได้ดี มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 16 MJ/kg และมีราคา 1,565 บาท/ตัน



รูปที่ 3.1 แกลบ [4]

2. ฟางข้าว [5],[6]

ฟางข้าว เป็นส่วนที่เหลือจาก นาข้าว ที่มีประโยชน์ในหลายด้าน และใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตทางเกษตรอื่นๆ ในด้านรูปพลังงานฟางข้าวมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ด้วยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มน้ำอุตสาหกรรมในโรงงานจะมีศักยภาพมากกว่าการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จมากนัก เนื่องจากฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนต่ำอีกทั้งยากในการเก็บเกี่ยว และมีค่าขนส่งที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆที่เป็นที่นิยม เช่น แกลบ เศษไม้ เปลือกปาล์ม มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 15.95 MJ/kg และมีราคา 1,563 บาท/ตัน



รูปที่ 3.2 ฟางข้าว [5],[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เหง้ามันสำปะหลัง [7]

เป็นส่วนของลำต้นที่ติดกับส่วนของหัวมันสด เป็นส่วนที่แข็งของต้นมันสำปะหลัง ทำให้เกษตรกรต้องตัดทิ้งเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังดังกล่าวไม่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังได้ ซึ่งมีค่าความร้อนสูงมาเผาไหม้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นแหล่งความร้อนต้นกำลัง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 15 MJ/kg และมีราคา 700 บาท/ตัน



รูปที่ 3.3 เหง้ามันสำปะหลัง [7]

4. ชานอ้อย [8]

ชานอ้อย คือ ส่วนของลำต้นอ้อยที่หาบน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว เป็นวัสดุเศษเหลือจากการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ในแต่ละปีจะมีชานอ้อยเหลือจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก จึงมีการนำชานอ้อยไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน ทั้งในภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 16.91 MJ/kg และมีราคา 3,250 บาท/ตัน



รูปที่ 3.4 ชานอ้อย [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใบและยอดอ้อย [9]

เป็นส่วนที่เหลือจากการตัดอ้อย และ ไม่ได้มีการใช้ประโยชน์ จึงมีการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าชีวมวล แต่สามารถรับได้ในปริมาณ ที่จำกัดเฉพาะช่วงการตัดอ้อยเท่านั้น ไม่สามารถเก็บรักษาในระยะยาวได้ ได้เฉพาะการขนส่งระยะใกล้ เพราะ ต้นทุนค่าขนส่งสูงมาก เนื่องจากยอดและใบอ้อยมีปริมาตรสูง แต่น้ำหนักเบา มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 17.84 MJ/kg และมีราคา 3,250 บาท/ตัน



รูปที่ 3.5 ใบและยอดอ้อย [9]

6. ชังข้าวโพด [10],[11]

ชังข้าวโพด คือ ส่วนหนึ่งของข้าวโพดที่เหลือจากการสีเมล็ดข้าวโพดออกไป ชังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูง เมื่อเทียบกับชีวมวลอื่นๆ แต่มีข้อเสียที่ต้องพิจารณาถึงแหล่งที่มีการนำไปใช้งาน เพื่อให้ไม่เกิดการแย่งซื้อวัตถุดิบเบา มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 15.58 MJ/kg และมีราคา 1,100 บาท/ตัน



รูปที่ 3.6 ชังข้าวโพด [10],[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ลำต้นข้าวโพด [10],[11]

ส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในส่วนของลำต้นจะถูกตัดหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วลำต้นข้าวโพด มีค่าความร้อนสูง แต่ลำต้นข้าวโพดจะเก็บรวบรวมลำบากต้องใช้แรงงานมาก มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 17.36 MJ/kg และมีราคา 1,300 บาท/ตัน



รูปที่ 3.7 ต้นข้าวโพด [10],[11]

8. กะลาปาล์ม [12]

กะลาปาล์มเป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลปาล์ม โดยจะอยู่ ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุด กับ เนื้อปาล์ม ที่อยู่ด้านในสุดลักษณะทั่วไป มีสีน้ำตาลเนื้อแข็งในอุตสาหกรรมการ ผลิตน้ำมันปาล์ม เมื่อเกิดกระบวนการสกัดเอาน้ำมันปาล์มออก แล้วจะเหลือกะลาปาล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล(Biomass) ที่ให้ค่าความร้อนสูง ในปัจจุบันเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา ที่มีราคาสูงจนทำให้ในประเทศมีกะลาปาล์มไม่เพียงพอกับความต้องการต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 21.35 MJ/kg และมีราคา 3,200 บาท/ตัน



รูปที่ 3.8 กะลาปาล์ม [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เส้นใยปาล์ม [13]

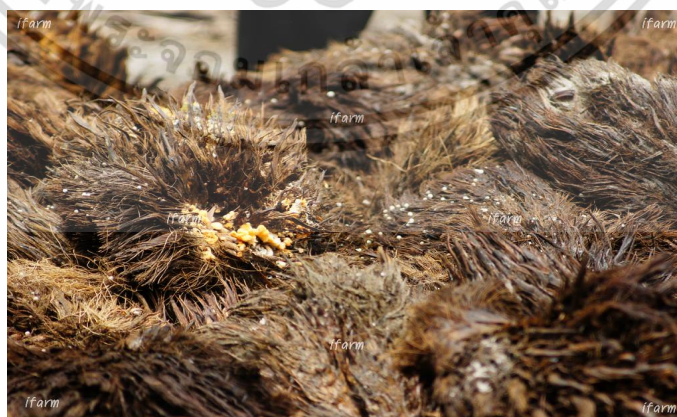
สกัดได้จากลำต้นปาล์มที่อุดมไปด้วยเส้นใยและมีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูงซึ่งเพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่หม้อไอน้ำ เนื่องจาก ใยปาล์มมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เอื้ออำนวยต่อการนำไปใช้งานและมีปริมาณที่เพียงพอ จึงทำให้ทุกโรงงานมีการนำใยปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลัก มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 19.17 MJ/kg และมีราคา 450 บาท/ตัน



รูปที่ 3.9 เส้นใยปาล์ม [13]

10. ทะลายปาล์ม [14]

ทะลายปาล์ม คือ ผลของปาล์มน้ำมัน ซึ่งทะลายหนึ่งมีผลปาล์ม 1,000- 2,000 ผล และมีน้ำหนักทะลายละ 10-15 กิโลกรัม ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นรูปรีหรือรูปไข่ มีขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร และยาว 5 เซนติเมตร มีน้ำหนักผลละ 10-15 กรัม มีค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น 17.94 MJ/kg และมีราคา 250 บาท/ตัน



รูปที่ 3.10 ทะลายปาล์ม [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 องค์ประกอบของชีวมวล [3]

ชีวมวลจะประกอบด้วยสารประกอบหลักที่เป็นเส้นใยพอลิเมอร์สามประเภท คือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) เส้นใยประเภทนี้ไม่ละลายน้ำ องค์ประกอบรองลงมาของชีวมวลได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลอย่างง่าย แป้ง น้ำ และเถ้า ทั้งเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีมวลโมเลกุลสูง และพบมากในผนังเซลล์พืช

สัดส่วนขององค์ประกอบหลักและองค์ประกอบรองของพืชจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับชนิด ชีวมวลจะประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) และคลอรีน (Cl) เถ้าของชีวมวลประกอบด้วย ธาตุที่สำคัญได้แก่ Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si และ Ti ธาตุรองลงมาในเถ้าได้แก่ As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, V และ Zn ในเถ้า Ca และ Mg มีผลทำให้จุดหลอมเหลวของเถ้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ K จะทำให้จุดหลอมเหลวของเถ้าลดลงอย่างมาก สารประกอบคลอไรด์ และสารประกอบแอลคาไลซิลิเกต ซึ่งเกิดขึ้นในเถ้า ทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้าลดลง

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (แห้ง) ของ C, H และ O ในชีวมวลโดยทั่วไปมีค่าอยู่ ระหว่าง 30 - 60%, 5 - 6% และ 30 - 45% ตามลำดับ N, S และ Cl โดยปกติมีค่าน้อยกว่า 1% แต่บางครั้งก็พบว่ามีค่าสูงกว่านี้ สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลที่แตกต่างไปจากเชื้อเพลิงถ่านหิน มีผลให้พฤติกรรมของการตอบสนองต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ การเกาะตัวของอนุภาค เถ้าบนผิวท่อไอน้ำและการปลดปล่อยมลพิษของชีวมวลแตกต่างไปจากถ่านหินด้วย ความแตกต่างทางด้านคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งสองประเภทสรุปได้ดังนี้

- เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านหินโดยทั่วไปเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยและออกซิเจนมากกว่า มีปริมาณคาร์บอน และมีค่าความร้อนต่ำ
- กระบวนการไพโรไลซิสของเชื้อเพลิงชีวมวลเริ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า
- สัดส่วนความร้อนที่ได้จากสารระเหยของชีวมวลมีค่าประมาณ 70 % เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินซึ่งมีสัดส่วน อยู่ที่ประมาณ 30 %
- เชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ฟางข้าว ทะลายเป่า มีแอลคาไลอิสระ (K และ Na แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็น K มากกว่า) ในเถ้ามากกว่าส่งผลให้เกิดปัญหาการหลอมละลายของเถ้า หรือ slagging และการเกาะตัวของอนุภาคเถ้า บนผิวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือ fouling ที่รุนแรงมากกว่ากรณีของถ่านหิน
- ถ่านหินชีวมวลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าถ่านของถ่านหินเพราะว่ามีพื้นที่ผิวมากกว่าและมีแอลคาไลน์ในถ่านเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมต่างๆของชีวมวลที่แตกต่างไปจากถ่านหินมีผลต่อการนำชีวมวล ไปใช้ประโยชน์เชิงความร้อน และเลือกเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่เหมาะสมกับชีวมวล

สำหรับการแปลงเชื้อเพลิงชีวมวลไปเป็นพลังงาน การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมยังไม่เพียงพอ ยังมีปัจจัยอื่นๆอีกหลายปัจจัยซึ่งอาจสำคัญยิ่งกว่าในการพิจารณาการนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน เช่น แหล่งชีวมวลที่สามารถจัดหาได้อย่างต่อเนื่อง ชีวมวลบางประเภทอาจหาได้ในช่วง เวลาแค่ 2 - 3 อาทิตย์ในหนึ่งปี ดังนั้นจึงต้องมีการสะสมชีวมวลไว้เพื่อให้มีใช้ตลอดทั้งปี ซึ่งแตกต่างไปจากกรณีของเชื้อเพลิงฟอสซิล ชีวมวลบางชนิด ต้องการมีการจัดเตรียมล่วงหน้า ก่อนลำเลียงเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้าต่อไป ได้แก่ การชะละลาย (leaching) การอบแห้ง หรือ การอัดเม็ดเชื้อเพลิง ปัญหาหลักของความล้มเหลวของโรงไฟฟ้าชีวมวลคือการเปลี่ยนแปลงในความต้องการการใช้เชื้อเพลิงและการจัดหาเชื้อเพลิง และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชื้อเพลิง

ข้อมูลองค์ประกอบซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ โดยรายงานจากสภาพนำส่ง (as-received basis) และวิเคราะห์โดยละเอียดโดยรายงานแบบปลอดความชื้นและเถ้า(dry and ash free basis) ของเชื้อเพลิง ชีวมวลบางชนิดทั้งในประเทศและต่างประเทศรวมทั้งถ่านหินด้วย แสดงในตารางที่ 3.1 มีข้อสังเกตว่าชีวมวล มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหิน (รวมถึงเชื้อเพลิงเหลวไฮโดรคาร์บอนด้วย) เนื่องจากชีวมวลมีโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของชีวมวลและถ่านหิน [3]

ชีวมวล (ประเทศ)	วิเคราะห์โดยประมาณ (% นน.แบบสด)				วิเคราะห์โดยละเอียด (% นน. ปลอดภัยและความชื้น)					
	ความชื้น	VM	FC	เถ้า	C	H	O	N	S	Cl
แกลบ (ไทย)	10.30	55.60	20.10	14.00	50.20	6.01	42.80	0.91	0.08	NA.
ทะลายปาล์มเปล่า(ไทย)	38.40	40.71	17.50	3.39	43.07	5.71	49.74	0.32	1.16	NA.
ใยผลปาล์ม (ไทย)	35.00	48.40	12.10	4.50	54.90	6.70	36.80	1.30	0.10	0.20
กะลาปาล์ม (ไทย)	10.40	62.70	21.90	5.00	56.80	6.00	35.70	0.20	0.06	1.20
เปลือกไม้ (สวีเดน)	50.00	NA.	NA.	1.70	51.88	6.10	41.71	0.31	NA.	NA.
กะลามะพร้าว (อินเดีย)	6.50	48.15	38.85	6.50	53.21	6.20	39.25	1.28	0.05	NA.
MSW (อังกฤษ)	36.00	32.00	8.20	23.80	50.20	5.80	42.30	0.97	0.73	NA.
RDF (อิตาลี)	20.00	60.77	8.18	11.05	58.28	5.07	33.04	1.42	0.88	1.31
RDF (อังกฤษ)	1.90	69.90	9.80	18.70	55.79	7.39	36.37	NA.	NA.	NA.
ฟางข้าว (เดนมาร์ก)	7.40	NA.	NA.	7.04	47.46	6.36	45.31	0.68	0.18	NA.
ฟางข้าว (อังกฤษ)	7.88	80.08	6.76	5.28	50.18	6.31	42.38	0.69	0.44	NA.
ใบและยอดอ้อย(อินเดีย)	4.00	55.98	38.27	1.75	49.87	5.99	44.13	NA.	NA.	NA.
หญ้าพันธุ์ Switch (อังกฤษ)	6.43	82.84	7.24	3.49	48.33	6.07	44.55	0.48	0.57	NA.
ฟางข้าวสาลี (เดนมาร์ก)	12.00	69.52	14.39	4.09	49.24	6.40	43.90	0.46	NA.	NA.
ฟางข้าวสาลี (อังกฤษ)	16.00	63.50	15.00	5.50	49.17	6.50	42.93	0.76	0.13	0.51
ไม้ชั้นสับ (ฟินแลนด์)	45.00	46.75	7.15	1.10	50.00	6.12	43.88	NA.	NA.	NA.
ไม้ชั้นสับ (อินเดีย)	7.00	54.52	38.11	0.37	49.01	6.40	44.59	NA.	NA.	NA.
ถ่านหินบิทูมินัส	24.69	32.20	38.92	4.19	74.10	4.28	18.40	1.56	1.66	NA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ปัญหาการนำชีวมวลไปใช้เพื่อผลิตพลังงาน

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงปัญหาในแต่ละด้านของเชื้อเพลิงชีวมวล

3.3.1 ความชื้น

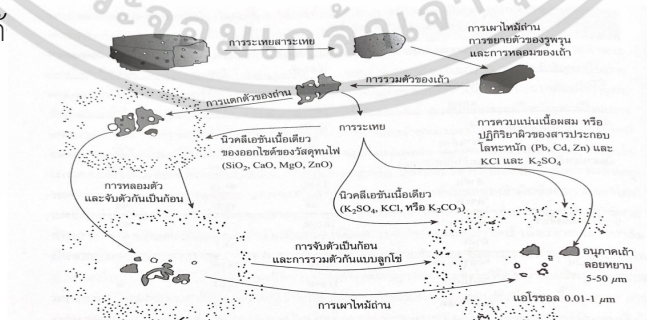
ความชื้นในชีวมวลค่อนข้างมีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลและกระบวนการแยกวัสดุ ความชื้นที่สูงในชีวมวลมีผลให้อุณหภูมิแอเดียติกต่ำ และเมื่อเปลวไฟที่มีอุณหภูมิต่ำได้แผ่รังสีไปที่กับผนังท่อไอน้ำของหม้อไอน้ำก็จะไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟได้อีกต่อไป จึงเป็นการยากที่จะควบคุมระบบการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำให้เป็นไปได้อย่างราบรื่น นอกจากนี้ยังทำให้เชื้อเพลิงต้องอยู่ภายในห้องเผาไหม้ โดยสมบูรณ์ลดน้อยลง ดังนั้นจึงเกิดมลพิษมากขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ความชื้นในเชื้อเพลิงและผลกระทบเชิงลบต่อการเผาไหม้จะมีมากในขั้นตอนเริ่มต้นของการระเหยสารระเหย ทำให้ระดับมลพิษจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์อยู่ในระดับที่สูง สุดท้ายความชื้นในเชื้อเพลิงจะหวังให้ขั้นตอนการระเหยสารระเหยเกิดขึ้นล่าช้าออกไปอย่างมาก

3.3.2 ความหนาแน่นรวม

ชีวมวลจำพวกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกือบทั้งหมด มีความหนาแน่นรวม (bulk density) ค่อนข้างต่ำ ซึ่งชีวมวลเมื่อเทียบกับถ่านหินแล้วมีความหนาแน่นต่ำกว่ามาก การที่ชีวมวลมีความหนาแน่นรวมต่ำ ทำให้ขั้นตอนการจัดเตรียมขนส่ง การเก็บรักษาและการเผาไหม้มีความยุ่งยากมาก

3.3.3 องค์ประกอบของเถ้าชีวมวล [3]

ธาตุที่ประกอบกันขึ้นเป็นเถ้าที่อยู่ในรูปของเกลือ และยึดติดอยู่กับโครงสร้างคาร์บอนในเชื้อเพลิง เถ้าประเภทนี้เรียกว่า เถ้าโดยธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีเถ้าอีกประเภทหนึ่งที่มาจากสิ่งสกปรกหรือดินที่ติดมากับเชื้อเพลิงชีวมวลระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนส่ง เรียกว่า เถ้าปลอมปน สารประกอบของเถ้าโดยธรรมชาติ จะกระจายอยู่ทั่วไปในตัวชีวมวล และมีสภาพการเคลื่อนที่ (mobility) ได้ดีกว่าสารประกอบในเถ้าปลอมปน ดังนั้น จึงระเหยและเข้าทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ได้โดยง่าย ระหว่างการเผาไหม้จากเถ้าในชีวมวลก่อนที่จะกล่าวถึง ปัญหาของการเผาไหม้จากเถ้าในชีวมวลจะขอกกล่าวถึงกลไกอันเป็นที่มาของเถ้าจากการเผาไหม้ชีวมวลเสียก่อนจากรูปที่ 3.11 แสดงกลไกการเกิดเถ้าชีวมวล ซึ่งสามารถอธิบายได้



รูปที่ 3.11 กลไกการเกิดเถ้าจากการเผาไหม้ชีวมวล [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 สารระเหย

ชีวมวลมีปริมาณสารระเหยมากกว่าคือการติดไฟและการเผาไหม้ ซึ่งทำได้ง่ายกว่า และคาดได้ว่าการเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและควบคุมได้ยาก ปริมาณสารระเหยที่สูง จะส่งผลต่อกระบวนการเผาไหม้โดยรวม สิ่งที่ต้องตระหนักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลก็คือ การทำให้สารระเหยเกิดการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการเผาไหม้จะมีประสิทธิภาพที่ดีและปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งมลพิษอื่นๆออกมาน้อย

3.4 ปัญหาการหลอมเหลวซี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลที่ปริมาณโพแทสเซียมสูง

การเกิดซี้เถ้าลอยและการสะสมตัวบนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อไอน้ำ ทำให้ความสามารถ ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อไอน้ำลดลงมากในระยะเวลาไม่นาน ยิ่งไปกว่านั้น การปล่อยให้การสะสมตัวระหว่างหม้อไอน้ำเตบโตขึ้นเรื่อยๆจนสานถึงกันได้ก็จะเป็นการกีดขวางต่อการไหลของแก๊สเผาไหม้อย่างมาก

การสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยจากการเผาไหม้ เกิดจากธาตุโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) โดยสาเหตุหลักๆมาจากธาตุโพแทสเซียม (K) เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีโพแทสเซียมมากกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้งจะมีโอกาสที่จะเกิดการสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยมาก

มาตรการหนึ่งที่ใช้แก้ไขปัญหาการเกิดซี้เถ้าหลอมภายในห้องเผาไหม้โดยเฉพาะในบริเวณการแผ่รังสีความร้อนคือ การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ไม่ให้เกินกว่า 800 องศาเซลเซียสเพื่อลดปัญหาการหลอม ละลายของสารประกอบแอลคาไลซิลิเกตในเถ้าซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 750 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ การใช้อุณหภูมิเผาไหม้ต่ำยังช่วยลดการ เกาะรวมตัวของอนุภาคเบดทราย และเถ้าในห้องเผาไหม้ฟลูอิดเบดได้อีกด้วย

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.5.1 แฮมเมอร์มิล (hammer mill)

แฮมเมอร์มิล หรือ เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยงคือ เครื่องบดที่ใช้ลดขนาดของเชื้อเพลิงแข็งมีลักษณะหัวบด เป็นค้อนหรือก้านที่ติดอยู่บนเพลลา ใช้หลักการเหวี่ยงกระแทกทำให้วัสดุแตกเป็นชิ้นมีขนาดเล็กกลง และมีตะแกรง ที่ถูกเจาะรูเป็นตัวกั้น เมื่อเครื่องบดทำให้วัสดุมีขนาดเล็กกว่ารูของตะแกรงก็จะมาสามารถผ่านออกมาได้



รูปที่ 3.12 เครื่องบดแฮมเมอร์มิล [31]

3.5.2 วาล์วควบคุมการไหลของอากาศ [15]

วาล์วควบคุมการไหลของอากาศ ทำหน้าที่เปิด-ปิดทางเดินของของไหล ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ในส่วนของอากาศส่วนที่ 2 ซึ่งมีหน้าที่ไปเพิ่มการหมุนควงของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ และอากาศในส่วนที่ 3 ซึ่งมีหน้าที่หล่อผนังของห้องเผาไหม้ให้เย็น



รูปที่ 3.13 วาล์วปีกผีเสื้อ [17]

3.5.3 ปั้มน้ำอัตโนมัติและปั้มหอยโข่ง [17],[18]

ปั้มน้ำอัตโนมัติและปั้มหอยโข่ง ทำหน้าที่ ส่งน้ำจากที่ต่ำไปยังที่สูงเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ มีหน้าที่ส่งน้ำ ไปยังระบบมาวนน้ำเพื่อลดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.14 ปั้มน้ำอัตโนมัติ [17]



รูปที่ 3.15 ปั้มน้ำหอยโข่ง [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 โรตاميเตอร์ [19]

โรตاميเตอร์ เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหลที่สามารถใช้วัดได้ทั้งของเหลวและก๊าซ มีโครงสร้างเป็นท่อแก้วใส ลักษณะเป็นทรงกรวย มีลูกกลอยที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้อย่างอิสระตามค่าอัตราการไหลของของไหล



รูปที่ 3.16 โรตاميเตอร์ [19]

3.5.5 เทอร์โมคัปเปิล [20],[21]

เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่งเรียกว่า จุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เรียกว่าจุดอ้างอิง ซึ่งหากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิง มีอุณหภูมิต่างกันก็จะนำไป เปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าก่อนที่จะไปเปลี่ยนกลับเป็นค่าอุณหภูมิที่เครื่องบันทึกอุณหภูมิ โดยในห้องเผาเราใช้ 2 type คือ K,R เนื่องจากทั้ง 2 type เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิสูง

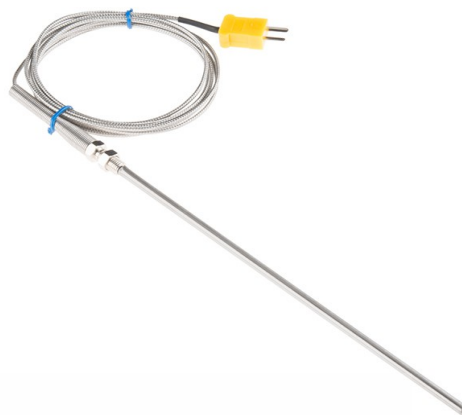
Type	Temperature range (°C)				Tolerance class (°C)		Color code		
	Continuous		Short term		One	Two	IEC	BS	ANSI
	Low	High	Low	High					
K	0	+1100	-180	+1300	-40 – 375: ±1.5 375 – 1000: ±0.004×T	-40 – 333: ±2.5 333 – 1200: ±0.0075×T			
J	0	+750	-180	+800	-40 – 375: ±1.5 375 – 750: ±0.004×T	-40 – 333: ±2.5 333 – 750: ±0.0075×T			
N	0	+1100	-270	+1300	-40 – 375: ±1.5 375 – 1000: ±0.004×T	-40 – 333: ±2.5 333 – 1200: ±0.0075×T			
R	0	+1600	-50	+1700	0 – 1100: ±1.0 1100 – 1600: ±0.003×(T-767)	0 – 600: ±1.5 600 – 1600: ±0.0025×T			Not defined
S	0	+1600	-50	+1750	0 – 1100: ±1.0 1100 – 1600: ±0.003×(T-767)	0 – 600: ±1.5 600 – 1600: ±0.0025×T			Not defined
B	+200	+1700	0	+1820	Not available	600 – 1700: ±0.0025×T	No standard	No standard	Not defined
T	-185	+300	-250	+400	-40 – 125: ±0.5 125 – 350: ±0.004×T	-40 – 133: ±1.0 133 – 350: ±0.0075×T			
E	0	+800	-40	+900	-40 – 375: ±1.5 375 – 800: ±0.004×T	-40 – 333: ±2.5 333 – 900: ±0.0075×T			
Chromel/AuFe	-272	+300	N/A	N/A	Reproducibility 0.2% of the voltage. Each sensor needs individual calibration.				

รูปที่ 3.17 ตารางแสดงอุณหภูมิช่วงการวัดของแต่ละ type [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 เทอร์โมคัปเปิล type K [31]



รูปที่ 3.19 เทอร์โมคัปเปิล type R [21]

3.5.6 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับโดยการเปลี่ยนความถี่ เมื่อความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ เปลี่ยนแปลง ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามสมการ $N=120f/P$ N คือ ความเร็วรอบต่อนาที f คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อวินาที และ P คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์



รูปที่ 3.20 อินเวอร์เตอร์ [31]

3.5.7 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC)

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงาน ต่างๆโดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิทช์ต่างๆจะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุม การทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุม ได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer)

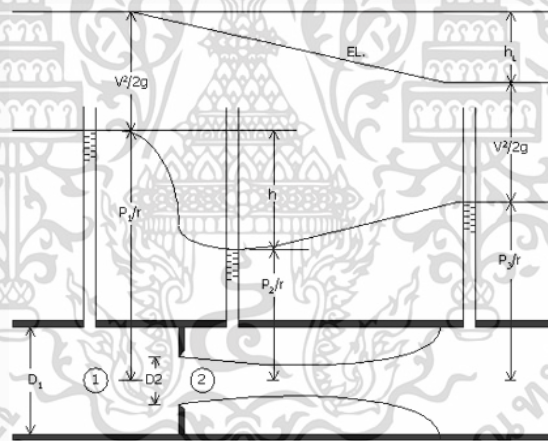
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC) [31]

3.5.8 แผ่นออริฟิส (orifice plate) [22]

เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (flow measurement) ของของไหล โดยวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ นิยมนำมาใช้งานเนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก สะดวกในการติดตั้งและการบำรุงรักษา แข็งแรงทนทาน และให้ค่าการวัดที่ถูกต้องแม่นยำ (accuracy) ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับราคา คำนวณค่าอัตราการไหลโดยใช้ทฤษฎีของเบอร์นูลลี (Bernoulli's theorem)



รูปที่ 3.22 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส [22]

จากรูปที่ 3.22 สามารถเขียนสมการการไหลจุด 1 และ จุดที่ 2 ได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.1)$$

เมื่อ $A_1 V_1 = A_2 V_2$ แทนค่าลงในสมการที่ (1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g\left[\left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2\right)\right]} \quad (3.2)$$

เมื่อ $Q_2 = A_2 V_2$ ดังนั้น อัตราการไหลผ่านแผ่นออริฟิสจะได้เป็น

$$Q_2 = A_2 V_2 = \frac{CA_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{2g\left[\left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2\right)\right]} \quad (3.3)$$

- เมื่อ
- Q = อัตราการไหลที่สภาวะทำงาน ,m³ /s
 - A = ขนาดพื้นที่หน้าตัด ,m²
 - V = ความเร็วของไหลในท่อ ,m/s
 - C = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล
 - D = ขนาดท่อ ,m
 - g = แรงโน้มถ่วง ,m/s²
 - P = ความดันที่จุดต่างๆ ,Pa
 - Z = ระดับจากจุดอ้างอิง ,m
 - γ = น้ำหนักจำเพาะ ,kg/m³



รูปที่ 3.23 แผ่นออริฟิส (orifice plate) [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

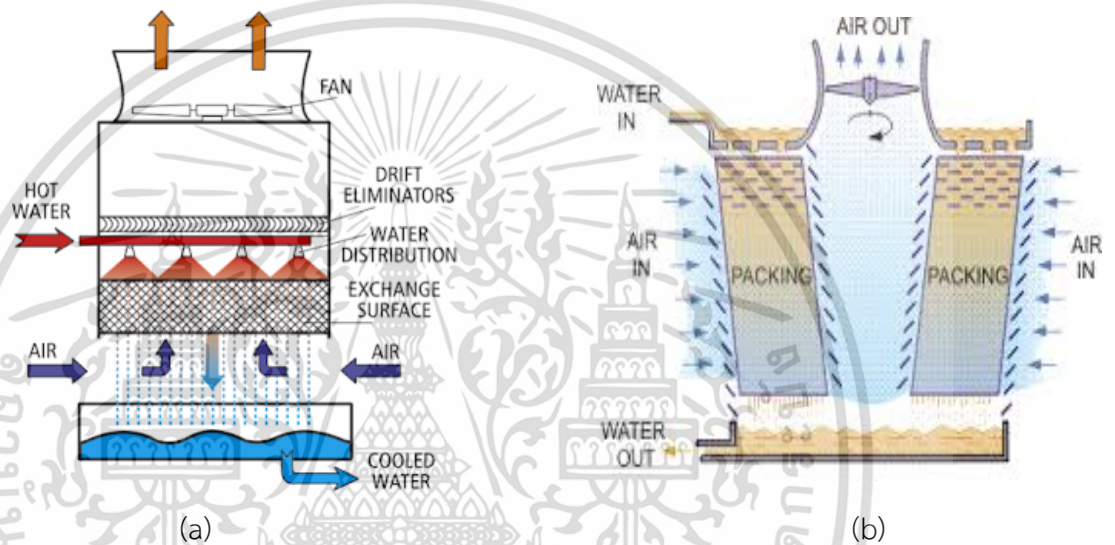
3.5.9 ทอระบายความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท [23],[24]

- Counterflow Cooling Tower

ทอระบายความร้อนแบบใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ แบบสวนทางกันใน แนวตั้ง ผ่านตัวกลางคือแผ่นชนวนกรองที่มีลักษณะแตกต่างกัน

- Crossflow Cooling Tower

ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศแบบสวนทางกันในแนวตั้งฉากจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนสูง เหมาะสำหรับติดตั้งในโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด



รูปที่ 3.24 (a) Counterflow Cooling Tower[23] (b) Crossflow Cooling Tower [24]

3.6 ทฤษฎีการเผาไหม้ (Combustion Theory) [3]

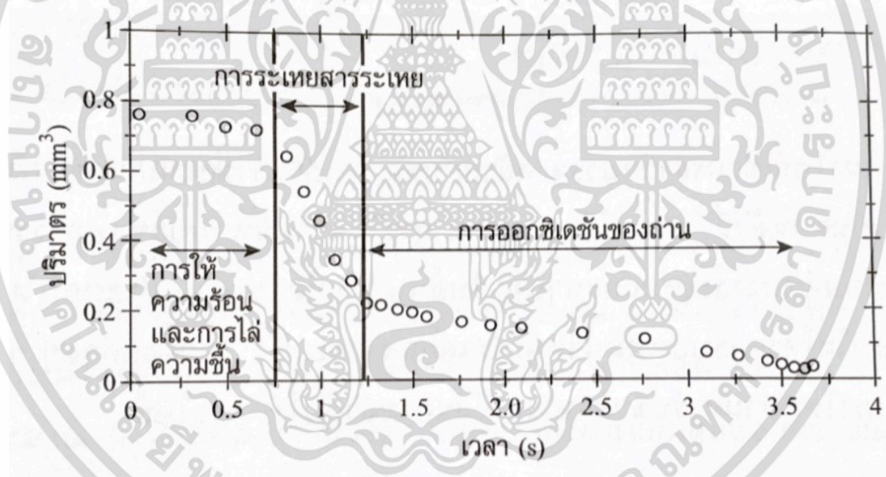
การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว เกิดการเผาไหม้และเกิดการคายความร้อน ในการเผาไหม้ไม่สามารถใช้ออกซิเจนอย่างเดียวได้เพราะอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21%โดยปริมาณ

เชื้อเพลิงชีวมวลประกอบด้วยธาตุต่างๆ ดังนี้ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจน (H_2) ซัลเฟอร์ (S) และไนโตรเจน (N) เนื่องจากจะทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งขนาดเล็กจะประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ได้แก่ การทำให้แห้ง การปลดปล่อยสารระเหยและกระบวนการเผาไหม้ ตามลำดับ เชื้อเพลิงแข็งเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้จากระบบลำเลียงเชื้อเพลิงเพื่อสร้างความร้อน ในขณะที่เชื้อเพลิงเคลื่อนที่ อนุภาคเหล่านั้นได้รับความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของอนุภาคก่อนหน้า การสะท้อนรังสีที่ผนังเตารวมไปถึงการหมุนวนของแก๊สร้อนจากปรากฏการณ์ทางอากาศพลศาสตร์ ทำให้เชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นโดยน้ำภายในเชื้อเพลิงจะเกิดการระเหยตั้งแต่อุณหภูมิห้องและเพิ่มขึ้นต่อไปยังจนกระทั่งถึงจุดเดือดของน้ำ(100องศาเซลเซียส)โดยน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิงจะแทรกออกมาจากเชื้อเพลิง กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การทำให้แห้งหรือdrying จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป เชื้อเพลิงยังได้รับความร้อน จนกระทั่งมีอุณหภูมิถึงจุดปลดปล่อยสารระเหยที่ประมาณ องศาเซลเซียส สาร 200-500 ระเหยที่อยู่ภายในเชื้อเพลิงจะแทรกออกมาจากเชื้อเพลิงในสถานะแก๊สปรกคุมรอบอนุภาคเชื้อเพลิง แก๊สที่ถูกปลดปล่อยออกมามีลักษณะคล้ายกับหมอกและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในห้องเผาไหม้เกิดการติดไฟ ความร้อนที่ถูกสร้างจากกระบวนการนี้จะถูกส่งกลับไปยังอนุภาคที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้สำหรับ กระบวนการทำให้แห้งและการปลดปล่อยสารระเหย สารระเหยที่อยู่ในอนุภาคเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนต่ำ ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงเกิดความร้อนที่ไม่สูงมาก จากปรากฏการณ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ หลังจากทีกระบวนการปลดปล่อยสารระเหยและ กระบวนการเผาไหม้สารระเหยเสร็จสิ้น ออกซิเจนในห้องเผาไหม้จึงสามารถแพร่เข้าไปสู่พื้นผิวของ อนุภาคเชื้อเพลิงเกิดกระบวนการเผาไหม้ถ่าน หรือChar combustion ระยะเวลาของกระบวนการนี้ ขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่เชื้อเพลิง เมื่อกระบวนการนี้เสร็จสิ้นจะเหลืออนุภาคของ เชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ที่เรียกว่าเถ้าหรือAsh



รูปที่ 3.25 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิง [3]

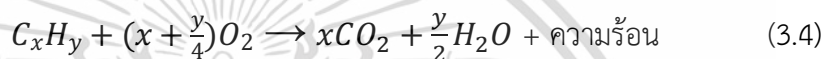
ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverized) การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในลักษณะเชื้อเพลิงที่ถูกแขวนลอย ดังนั้นขนาดของเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาจะต้องมีขนาดเล็ก อากาศส่วนแรกที่ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาจะถูกอุ่นก่อนเพื่อช่วยให้เชื้อเพลิงแห้ง อากาศส่วนที่สองจะถูกส่งเข้าสู่เตาโดยตรงเพื่อช่วยทำให้เกิดการคลุกเคล้าของอากาศกับเชื้อเพลิง ชี้อาที่ที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกมากับไอเสีย หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นสามารถอาจเรียกอีกชื่อว่า ห้องเผาไหม้ช่วย วัตถุประสงค์ของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นนี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้เวลาในการเผาไหม้นาน เนื่องจากกระบวนการต่างๆ ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการสร้างห้องเผาไหม้ช่วยที่มีขนาดเล็กเพื่อที่ ให้กระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ช่วย อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟ หัวเผาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประกอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปด้วย ห้องเผาไหม้ช่วยที่มีผนังเป็นอิฐทนไฟ ช่องทางเข้าอากาศส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ ตติยภูมิ ช่องทางเข้าของLPG อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควง วัตถุขวางการไหล

3.6.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน

- จะต้องมี $O_2(g)$ มากพอที่จะเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอนอย่างสมบูรณ์
- ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็คือ $CO_2(g)$ และ $H_2O(g)$
- ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้จะให้เปลวไฟสีน้ำเงิน

สมการทั่วไปของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน คือ

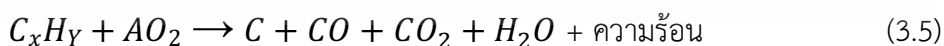


ถ้าเชื้อเพลิงประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะได้ CO_2 และ H_2O เสมอ

3.6.2 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน

- ในปฏิกิริยานี้จะมีออกซิเจนไม่เพียงพอ
- มีไฮโดรคาร์บอนมากเกินไป
- นอกจาก $CO_2(g)$ แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้คือคาร์บอนมอนอกไซด์ $CO(g)$, โดยปกติแล้วคาร์บอนจะอยู่ในรูปของเขม่า $C(s)$ และ $H_2O(g)$
- ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้จะให้ควันหรือเปลวไฟสว่างมีเขม่า
- อะตอมคาร์บอนที่ส่องสว่างจะให้เปลวไฟสีเหลือง

สมการทั่วไปของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง [30]

จากสมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นจำเป็นต้องมีปริมาณอากาศที่ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์เพียงพอต่อการเผาไหม้จนทำให้เชื้อเพลิงหมดพอดีมีอากาศส่วนเกินเป็นศูนย์ (Zero excess air หรือ Stoichiometric combustion) จะทำให้การเผาไหม้มีอุณหภูมิและพลังงานความร้อนสูงสุด ดังนั้นถ้าใช้อัตราส่วนของอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าทฤษฎีจะทำให้การเผาไหม้ได้ค่าความร้อนต่ำกว่าที่ควรจะได้ แต่ถ้าหากใช้อัตราส่วนของ อากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าทฤษฎีจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกไปจากการเผาไหม้ด้วย อัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric air fuel ratio) สามารถหาได้จากสมการ

$$(A/F)_{Stoic} = \left(\frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}} \right)_{Stoic} \quad (3.6)$$

เมื่อ $(A/F)_{Stoic}$ คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

\dot{m}_{air} คือ อัตราการป้อนอากาศ ,kg/s

\dot{m}_{fuel} คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ,kg/s

แต่ค่า $(A/F)_{Stoic}$ ที่สามารถนำมาใช้จริงต้องหักปริมาณความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิงด้วย ซึ่งตัวแปรที่จะบอกกว่าปริมาณ อากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงมีปริมาณมากเท่าใด เป็นการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงหนา บาง หรือพอดี ก็คืออัตราส่วนสมมูล(Equivalence ratio) สามารถหาได้จากสมการ

$$\phi = \frac{(A/F)_{Stoic}}{(A/F)} = \frac{(F/A)}{(F/A)_{Stoic}} \quad (3.7)$$

เมื่อ ϕ คือ อัตราส่วนสมมูล

F/A คือ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ

A/F คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

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

ถ้า $\phi < 1$ เป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมของเชื้อเพลิงบาง (Fuel lean mixture) คือมีปริมาณเชื้อเพลิงน้อย หรือปริมาณอากาศที่มากเกินไปกว่าค่าพอดี แต่ถ้า $\phi > 1$ เป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมของเชื้อเพลิงหนา (Fuel rich mixture) คือมีปริมาณเชื้อเพลิงที่มากเกินไปหรือมีปริมาณอากาศที่น้อยเกินไปที่ทำให้ไม่มีปริมาณออกซิเจน ที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มีคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น ส่วนการเผาไหม้ แบบส่วนผสมพอดี (Stoichiometry mixture)

$\phi = 1$ ถ้าเป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมพอดีปริมาณอากาศ ที่ใช้ทางทฤษฎีคือเปอร์เซ็นต์อากาศพอดี (Percent stoichiometric air) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนผสม ตามสมการ

$$\%stoicair = \frac{100\%}{\phi} \quad (3.8)$$

เมื่อ $\%stoicair$ คือ เปอร์เซ็นของอากาศพอดี ที่ใช้ทางทฤษฎี

ในทางปฏิบัติการทำให้อากาศเข้าไปแล้วทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงอย่างพอดีเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก โดยเฉพาะการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงแข็ง เพราะการที่มีออกซิเจนบางส่วนไม่สัมผัสกับเชื้อเพลิง ก็ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไม่ได้ได้รับความร้อนอย่างที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการเผาไหม้ให้มีปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าอากาศทางทฤษฎี แต่ปริมาณอากาศที่ใช้จะต้อง ไม่มากเกินไปจนมีการพาความร้อนออกไปจากระบบ เปอร์เซ็นของอากาศส่วนเกินสามารถหาได้จากสมการ

$$\%excessair = \frac{(1-\phi)}{\phi} \cdot 100\% \quad (3.9)$$

เมื่อ $\%excessair$ คือ เปอร์เซ็นของอากาศส่วนเกิน

3.7 สมการที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้

3.7.1 แบบจำลองความปั่นป่วน turbulent model

แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) เป็นแบบจำลองที่ช่วยในการคำนวณสมการ ความต่อเนื่องและสมการ Reynolds-averaged Navier-Stokes equation (RANS) ในการไหลแบบ ปั่นป่วน โดยจะใช้ในการหาค่า Reynolds stress ซึ่งในการคำนวณ จะสนใจเพียงค่าเฉลี่ยของการไหลเท่านั้น ซึ่งแบบที่นิยมมากในการใช้คือแบบ k- ϵ ซึ่งมี แบบคือ standard, RNG และ realizable โดยแต่ละแบบจะมี สมการ k เหมือน ต่างกันตรงสมการ ϵ ซึ่งในแต่ละแบบ จะมีการกำหนดตัวแปรและค่าคงที่ต่างกันไป โดย simulation ใช้ชนิด standard ในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วน ที่ประกอบไปด้วย สมการถ่ายโอน คือ

สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulent kinetic energy equation) (turbulence kinetic energy, k)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \text{div}(\rho k U) = \text{div} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad} k \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (3.10)$$

สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (rate of dissipation, ε)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \text{div}(\rho \varepsilon U) = \text{div} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \text{grad} \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.11)$$

เมื่อ $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon} =$ ค่าคงที่ค่าเท่ากับ และ 1.92 1.44 ตามลำดับ
 σ_k และ $\sigma_\varepsilon =$ ค่าตัวเลข Prandtl มีค่าเท่ากับ 1.00 และ 1.30 ตามลำดับ

3.7.2 สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

สมการการไหลต่อเนื่องเป็นสมการที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล และความเร็ว พื้นที่หน้าตัดการไหล ซึ่งการวิเคราะห์สมการการไหลต่อเนื่องจะใช้ หลักการอนุรักษ์มวลสาร (conservation of mass) กล่าวคือ มวลสารไม่มีทางสูญหายหรือเพิ่มขึ้นได้ แต่มวลสารสามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งได้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (3.12)$$

รูปสมการอนุรักษ์มวลที่มีความแม่นยำในการคำนวณการไหลอัดตัวได้และการไหลอัดตัวไม่ได้ S_m คือมวลที่ใส่เข้าในช่วงความต่อเนื่องจากช่วงที่ไม่ต่อเนื่อง

3.7.3 แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion model)

แบบจำลองการเผาไหม้ Eddy Break-Up (EBU) อาศัยหลักการที่กระแสไหลวน นั้น ทำให้เปลวไฟกระจายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งในกรณีนี้ ความเร็วเปลวไฟปั่นป่วน จะมีค่าสูงกว่าความเร็วจากการเกิดปฏิกิริยามากๆ จึงทำให้สามารถละไม่สนใจผลของ ความเร็วของปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้ได้ อย่างไรก็ตามต้องอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ความหนาของเปลวไฟ จะมากกว่า Kolmogorov micro scale (ระยะของ eddy ที่เล็กที่สุด) แต่ไม่เกิน Integral scale (ระยะของ Large eddy) โดยมีสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{c}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \tilde{c} \bar{U}) - \nabla \cdot (\bar{\rho} \tilde{D}_{c_t} \nabla \tilde{c}) = \tilde{w} \quad (3.13)$$

เมื่อ C คือ progress variable หมายถึงเศษส่วนมวลเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้ โดย $0 \leq c \leq 1$
 \tilde{D}_{c_t} คือ diffusion coefficient. สัญลักษณ์ overbar ($\bar{}$) และ tilde overbar ($\tilde{}$) หมายถึง ensemble และ density weighted ensemble ตามลำดับ. ตัวแปร \tilde{w} คืออัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Rate) โดยที่

$$\tilde{w} = \bar{\rho}_A \tilde{c} (1 - \tilde{c}) / \tau_t \quad (3.14)$$

เมื่อ τ_t คือ turbulence dissipation time scale หาได้จากความสัมพันธ์ของ turbulence kinetic energy \tilde{k} กับ dissipation rate $\tilde{\epsilon}$ โดย $\tau_t = \tilde{k} / \tilde{\epsilon}$ แสดงให้เห็นว่าอัตราการเผาไหม้แปรผันตรงกับ ความเร็วปั่นป่วน หรืออาจเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่งคือ

$$\tau_t = \frac{l}{u} \quad (3.15)$$

เมื่อ u คือ root mean square (rms.) turbulent velocity และ l คือ turbulent integral length scale.

3.7.4 แบบจำลองการแผ่ความร้อน (Radiation model)

แก๊สร้อนที่ลอยอยู่ในห้องเผาไหม้ถือ เป็นทิวทัศน์ ที่มีปฏิสัมพันธ์กับรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุโดยรอบ ในขณะที่เนื้อของแก๊สร้อนนั้นก็ยังมีรังสีไปยังวัตถุโดยรอบเช่นกัน ไม่ว่าจะ เป็น แก๊ส หรือผนังเตาโดยรอบเช่นกันด้วย การรวมผลของการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นด้วยผล เฉลยแม่นยำตรงสำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติในเนื้อแก๊สร้อนนั้น เป็นสิ่งที่ซับซ้อนยุ่งยาก และใช้ทรัพยากรในการคำนวณมาก จึงได้มีการตั้ง สมมุติฐาน โดยทำการแบ่งการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในก้อนวัตถุหนึ่ง ๆ ตามทิศทางของการแผ่รังสีที่กำหนดขึ้น โดยมีจำนวน ทิศทางที่กำหนดขึ้นอย่างชัดเจน (Discrete Ordinate, DO) ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลองของการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี สมมุติให้มุมรับรังสีไม่ส่งผลต่อค่าความเข้มของรังสีที่เข้ามาสู่วัตถุ เรียกอีกอย่าง หนึ่งว่าเป็น การรับรังสีแบบฟุ้งกระจายโดยมีความเข้มของรังสีเฉลี่ยเท่ากันทุก ทิศทาง (Diffusive irradiation) และใช้สมมุติฐานอย่างเดียวกันกับการสะท้อนของ รังสีของวัตถุ กล่าวคือการสะท้อนออกของรังสีที่เข้าสู่วัตถุ จะแผ่ออกไปทุก ทิศทางที่ความเข้มเท่า ๆ กัน (Diffusive reflection) นอกจากนี้ยังกำหนด สมมุติฐาน เพิ่มเติมไว้อีกว่า ค่าการเปล่งรังสี (Emissivity) และค่าการดูดกลืนรังสี (Absorptivity) มีค่าเท่ากัน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นวัตถุเทา (Gray object) นอกจากนี้ในแบบจำลองยังกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นคุณสมบัติของแก๊สหรือ พื้นผิวผนังห้องเผาไหม้ เป็นค่าคงที่ รังสีความร้อนเมื่อผ่านแก๊สตัวกลาง จะมีการซึมซับรังสีความร้อนไว้ (Absorption) แก๊สตัวกลางนั้นยังมีการเปล่งรังสีความร้อน (Emission) ออกมาด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อความเข้มของรังสีที่ส่องผ่าน โดยมีการฟุ้งกระจาย ของรังสี (Scattering) เกิดขึ้นเช่นกัน สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างพจน์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวข้างต้นได้ ดังนี้

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + aI(\vec{r}, \vec{s}) + \sigma_s I(\vec{r}, \vec{s}) = \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' + an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (3.16)$$

- เมื่อ \vec{r} คือ เวกเตอร์ระบุพิกัดของปริมาตรควบคุมใด ๆ ที่อยู่ในโดเมน ของการคำนวณ
- \vec{s} คือ เวกเตอร์บ่งชี้ทิศทางของรังสีที่กำลังพิจารณานั้น ๆ
- \vec{s}' คือ เวกเตอร์บ่งชี้ทิศทางของรังสีในทิศทางอื่นทั้งหมด นอกเหนือจากทิศทางที่กำลังพิจารณา
- ds คือ ระยะทางสุทธิของการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีที่พิจารณา
- a คือ สัมประสิทธิ์การซึมซับพลังงานจากรังสี (Absorption coefficient) ของเนื้อตัวกลาง
- n คือ ดัชนีหักเหรังสีความร้อน (Refractive index) ที่เปล่งออกจากก้อนแก๊สร้อนสู่ทิศทางที่พิจารณา
- σ_s คือ สัมประสิทธิ์บ่งชี้การฟุ้งกระจายรังสีความร้อนของแก๊สตัวกลาง (Scattering coefficient)
- σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzman ($5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)
- I คือ ค่าความเข้มของรังสีความร้อน ซึ่งขึ้นกับ ตำแหน่ง \vec{r} ใดๆ ของสารตัวกลางที่กำลังพิจารณา และทิศทาง \vec{s} ของรังสีที่ส่อง ผ่านที่ตำแหน่งนั้น ๆ
- T คือ อุณหภูมิของแก๊สตัวกลาง ณ ตำแหน่ง ที่รังสีนั้นส่องผ่าน
- $\Phi(\vec{s}, \vec{s}')$ คือ ฟังก์ชันเฟสของคลื่นรังสีความร้อน ระหว่างคลื่นที่อยู่ใน ทิศทาง \vec{s} กับ ทิศทาง \vec{s}'

Ω' คือ Solid angle ที่คลื่นรังสีความร้อนผ่านเข้ามาสู่ปริมาตรควบคุม

เมื่อพิจารณารูปทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีความร้อนใน ทิศทางหนึ่ง ๆ ในก้อนของไหล ในปริภูมิ 3 มิติ พจน์แรกด้านซ้ายมือของสมการข้างบน ถูกเขียนใหม่ได้ในรูปของไดเวอร์เจนซ์ ซึ่งจะได้ว่า

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s})) + aI(\vec{r}, \vec{s}) + \sigma_s I(\vec{r}, \vec{s}) = \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' + an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแก๊สร้อนที่อยู่ในห้องเผาไหม้ จะใช้การเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่เรียกว่า *Weighted-Sum-of-Gray-Gas Model* ในการหาค่าเฉลี่ยคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น หากแบ่งย่านความถี่ (*Band*) ของคลื่นรังสีความร้อนออกเป็น N ย่าน ความถี่ ค่าของสัมประสิทธิ์ของการเปล่งรังสี จะหาได้จาก

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^N a_{\varepsilon,1} (T)(1 - e^{k_i p s}) \quad (3.18)$$

เมื่อ	$a_{\varepsilon,1}$	คือ แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักสำหรับค่า Emissivity ในย่านความถี่ที่ ε
	$1 - e^{k_i p s}$	คือ อุณหภูมิในรูปแบบของฟังก์ชันโพลีโนเมียล
	k_i	คือ สัมประสิทธิ์ของการซึมซับรังสี (Absorption coefficient) ในเนื้อแก๊ส สำหรับย่านความถี่ที่ i
	p	คือ ความดันย่อยของสปีชีส์ที่มีบทบาทในการซึมซับรังสี
	s	คือ ระยะทางที่เกิดการซึมซับรังสีนั้นในปริมาตรควบคุมที่กำลังพิจารณา

3.8 Swirl number

แสดงระดับความแรงของการไหลหมุนควงถูกนิยามโดยตัวเลขสเวิร์ล โดยที่ขนาดของมุมจำนวนและขนาดของใบพัด จะส่งผลถึงความแรงของการหมุนควงและบ่งบอกถึงขนาดของการไหลวนกลับของ กระแสอากาศตรงกลางห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างโมเมนตัมเชิงมุมของเจ็ท (G_θ) กับโมเมนตัมเชิงเส้นในแนวแกนของเจ็ท (G_x) ดังสมการ

$$S_w = \frac{G_\theta}{R G_x} \quad (3.19)$$

เมื่อ	S_w	=	Swirl number
	R	=	รัศมีของห้องเผาไหม้ทรงกระบอก ,m
	G_θ	=	โมเมนตัมเชิงมุมของเจ็ท ,kg.m ² /s
	G_x	=	โมเมนตัมเชิงเส้นในแนวแกนของเจ็ท ,kg.m /s

นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดค่าตัวเลขสวิร์ลได้จากการ เปรียบเทียบกันระหว่างความเร็วในแนวแกน (u_θ) กับความเร็วหมุน ควง (u_x) และสามารถคำนวณได้จากได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$S_w = \frac{\frac{u_\theta}{2u_x}}{1 - \left(\frac{u_\theta}{2u_x}\right)^2} \quad (3.20)$$

เมื่อ S_w = Swirl number
 u_θ = ความเร็วในแนวแกน ,m/s
 u_x = ความเร็วหมุนควง ,m/s

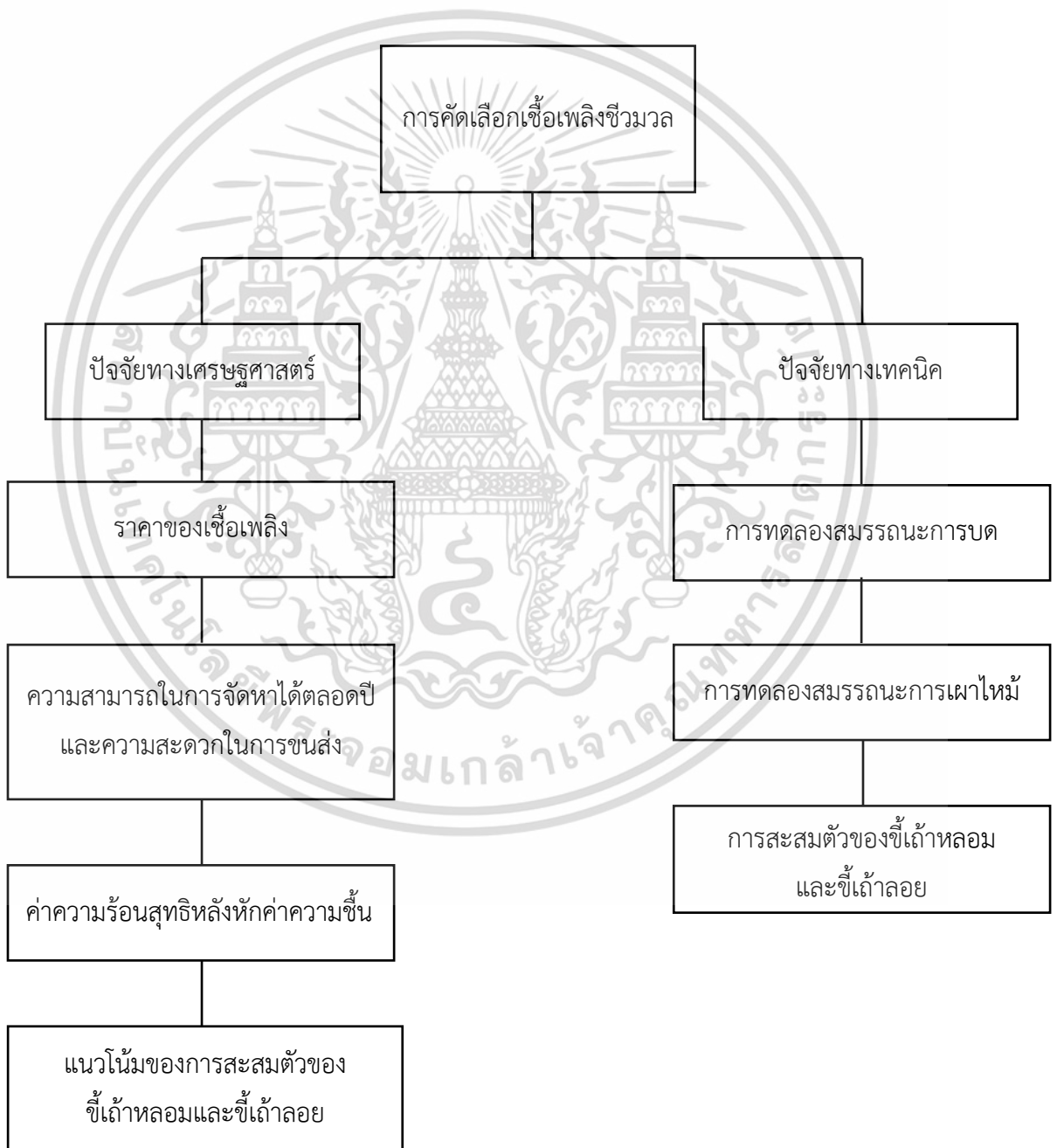


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสม สำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น มีปัจจัยในการคัดเลือกคือปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ และปัจจัยทางด้านเทคนิค จากเนื้อหาเรื่องทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนำไปสู่การเลือกใช้งานอุปกรณ์ และออกแบบการทดลองต่างๆ รวมถึงการคำนวณอากาศและอัตรา การป้อนเชื้อเพลิงเกี่ยวกับการเผาไหม้ การทดลองสมรรถนะการบด การทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ และการสะสมตัวของซีไถ้าหลอมและซีไถ้าลอย เพื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวล ประกอบไปด้วย

- ราคาของเชื้อเพลิงชีวมวล
- ความสามารถในการจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปี และความสะดวกในการขนส่ง
- ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น
- แนวโน้มการสะสมตัวของซีเถ้าหลอมและซีเถ้าลอย

4.1.1 ขั้นตอนการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวล

- นำเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยมาคัดเลือกเหลือเพียงเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชเศรษฐกิจและสามารถจัดหาได้บริเวณภาคกลางของประเทศไทย เหลือเพียง 10 ชนิด
- ทำแบบสอบถามโรงงานอุตสาหกรรม เรื่องปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงาน
- นำข้อมูลของปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์(ราคา, ความสามารถในการจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปี และความสะดวกในการขนส่ง, ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น, การสะสมตัวของซีเถ้าหลอมและซีเถ้าลอย) มาเปรียบเทียบกับและคิดเป็นคะแนนเต็มสิบ
- นำข้อมูลที่เป็นคะแนนเต็มสิบมาให้เจ้าหน้าที่ความสำคัญตามผลที่ได้มาจากแบบสอบถาม โดยคิดเป็นคะแนนรวมเต็มร้อย
- คัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคะแนนสูงที่สุด 3 ชนิด เพื่อนำมาคัดเลือกผ่านปัจจัยทางด้านเทคนิค

ปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อชีวมวลมาใช้ ใน โรงงาน

วัตถุประสงค์แบบสอบถามนี้จัดทำเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับศึกษาค้นคว้าเพื่อการศึกษาของนักศึกษา
ระดับปริญญาตรี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*จำเป็น

ภูมิภาคที่ตั้ง โรงงานของท่าน *

- ภาคเหนือ
- ภาคกลาง
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ภาคตะวันออก
- ภาคใต้

ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และทางเทคนิค

ความหมายของการให้คะแนน
5 = ให้ความสำคัญมากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = น้อยที่สุด

ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ *

	5	4	3	2	1
ราคาของชีวมวล (บาท/ตัน)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
สามารถจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปี	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ความสะดวกในการขนส่งชีวมวล	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ปัจจัยทางเทคนิค *

	5	4	3	2	1
ค่าความร้อนสุทธิ (หลังหักความสูญเสียจากความชื้น) (kJ/kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ปริมาณความชื้นของชีวมวล (%)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ปัญหาที่ก่อกำเนิดขึ้นก่อนภายในห้องเผาไหม้ (agglomeration)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ปัจจัยด้านความคุ้มค่า *

	5	4	3	2	1
ค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งหน่วยพลังงาน (Baht/MJ)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

รูปที่ 4.1 แสดงแบบสอบถามโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับปัจจัยในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงชีวมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ปัจจัยทางเทคนิค

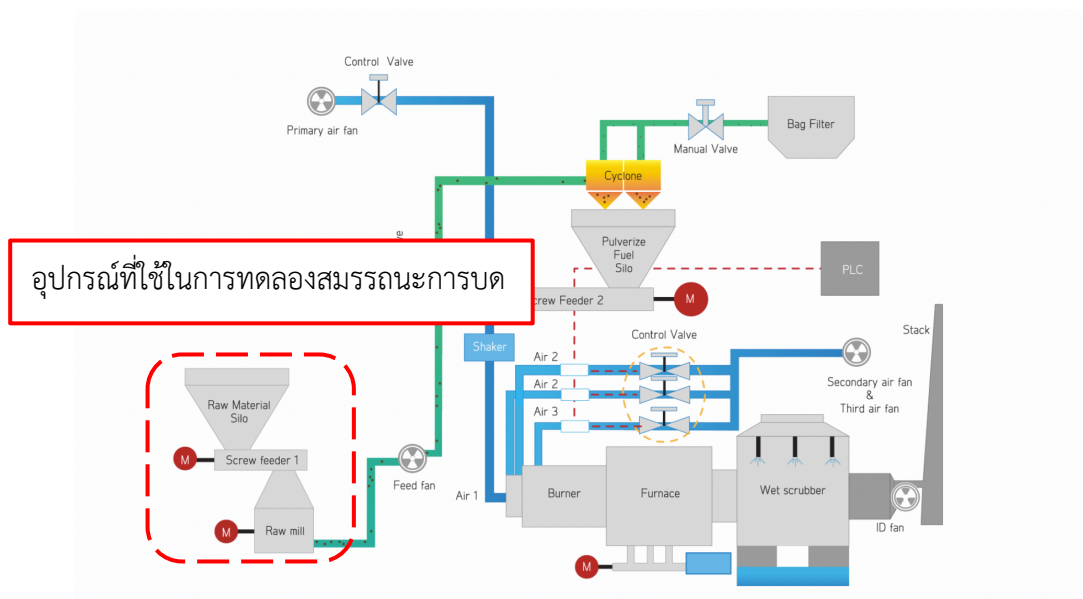
ปัจจัยทางด้านเทคนิคที่ใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลประกอบไปด้วย

- การทดลองสมรรถนะการบด
- การทดลองสมรรถนะการเผาไหม้
- การสะสมตัวของซีเฝ้าหลอมและซีเฝ้าลอย

4.2.1 การทดลองสมรรถนะการบด

4.2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

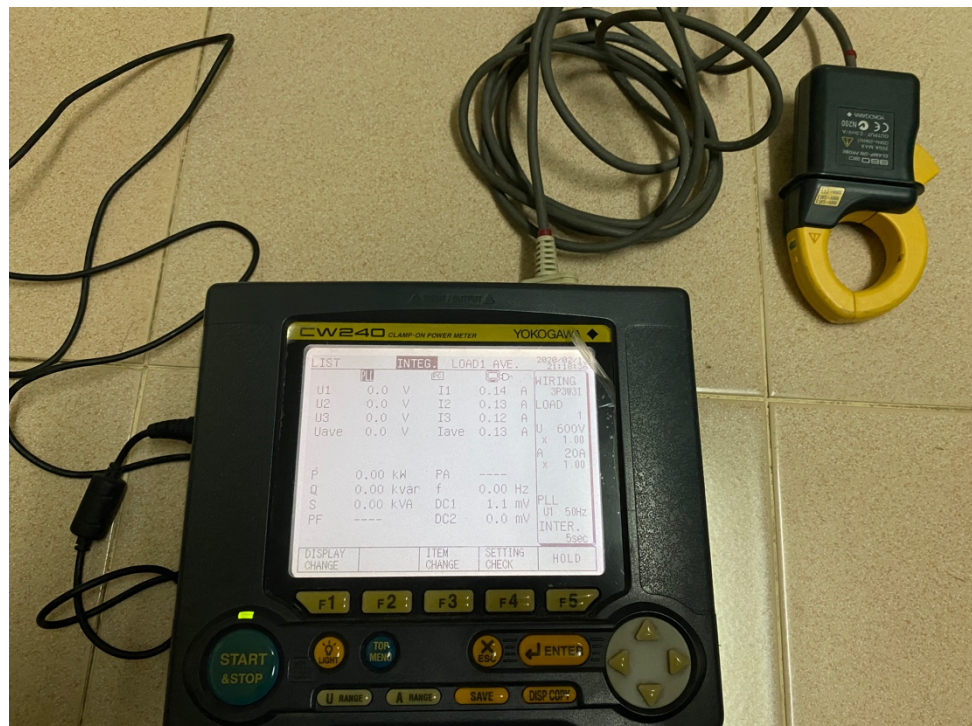
ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในระบบที่สำคัญต่อการทดลอง เนื่องจากเป็นการควบคุมขนาดของอนุภาค การบดเชื้อเพลิงจะทำการบดเชื้อเพลิงจากไซโลเก็บเชื้อเพลิงโดยใช้สกรูลำเลียงเข้าสู่เครื่องบด เชื้อเพลิงที่บดแล้วนั้นจะถูกคัดกรองโดยตะแกรงและลำเลียงผ่านไซโคลน เพื่อแยกอากาศและเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ไซโลเก็บเชื้อเพลิงเพื่อรอทำการทดลอง อากาศที่ถูกแยกออกมานั้นจะถูกบำบัดโดยถุงกรองก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป



รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์ของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง



รูปที่ 4.3 แสดง ก.ไซโลเก็บเชื้อเพลิงที่ยังไม่ผ่านการบัด ข. เครื่องบัดเชื้อเพลิง [31]



รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า YOKOGAWA รุ่น CW240

4.2.1.2 วิธีการทดลอง

● การสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบด

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาความถี่อินเวอร์เตอร์ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้มีค่าเท่ากันสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

วิธีการทดลอง

1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในถังเชื้อเพลิง
2. ปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่มอเตอร์สกรู
3. เปิดมอเตอร์สกรูลำเลียง และอินเวอร์เตอร์เพื่อให้เชื้อเพลิงไหลผ่านสกรูลำเลียง
4. นำภาชนะมารองเชื้อเพลิงที่ผ่านสกรูลำเลียง โดยจับเวลา 3 นาที
5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง บันทึกค่าลงในตารางและหาค่าเฉลี่ย
6. เปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์สกรูลำเลียง (0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5 Hz) และทำซ้ำข้อ 1-5
7. เปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง และทำซ้ำข้อ 1-6

ตารางที่ 4.1 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบดของแต่ละเชื้อเพลิง

อัตราการป้อน เชื้อเพลิง (Hz)	ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)		
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.5			
0.7			
0.9			
1.1			
1.3			
1.5			

● การทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิง

ในการทดสอบหาสมรรถนะการบดของเชื้อเพลิงที่ได้จากการคัดกรองด้วยข้อมูลทางสถิติและข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์จนได้ กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม ไยปาล์ม และไม้ยางพารา(กรณีอ้างอิง) เป็นเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบกับเครื่องบดแบบ hammer mill ผ่านตะแกรงที่มีขนาดตะแกรง 1 mm. และ 0.5 mm. เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการทดลองต่อไป

เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปรต้น : ชนิดของเชื้อเพลิง 4 ชนิด (กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม ไยปาล์ม ไม้ยางพารา(กรณีอ้างอิง))

ตัวแปรตาม : อัตราการบด (kg/min) และ Specific energy consumption (kJ/kg)

ตัวแปรควบคุม : 1. เวลา

2. ขนาดของตะแกรง

3. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเครื่องบด (Hz)

4. กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 30 แอมป์แปร์

วิธีการทดลอง

1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในถังเชื้อเพลิง

2. ปรับความถี่อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดตามผลที่ได้จากหัวข้อ 4.2.1.2

3. เปิดมอเตอร์ของสกรูลำเลียง และอินเวอร์เตอร์เพื่อป้อนเชื้อเพลิงไปยังเครื่องบด

4. นำภาชนะมารองเชื้อเพลิงที่ได้จากการบดผ่านตะแกรงขนาด 1 mm. และ 0.5mm. โดยจับเวลา 10 นาที

5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกค่าลงในตาราง

6. เปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5

ตารางที่ 4.2 ตารางเก็บผลการทดลองสมรรถนะการบดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

No.	Rate of feed fuel (Hz)	Weight (kg)	Energy (J)	Specific energy consumption (kJ/kg)	Specific energy consumption average (kJ/kg)
		10 min			
1	0.6				
2					
3					
4	0.9				
5					
6					

4.2.1.3 การคำนวณพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวล (Specific energy consumption)

วิธีการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวล

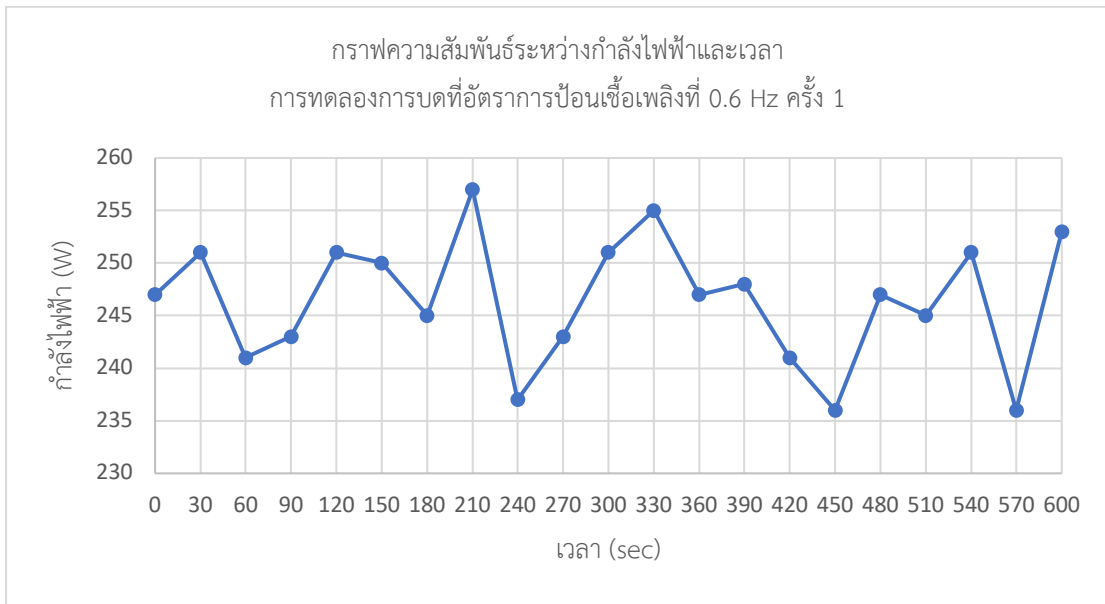
- วัดค่ากำลังไฟฟ้าจาก Power meter
- หาพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลา
- จะได้ค่าพลังงานที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงชีวมวล

ตัวอย่างการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการบดของเชื้อเพลิงชีวมวล

ตารางที่ 4.3 แสดงกำลังไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ ที่ทำการทดลองการบด

เวลา	อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าเครื่องบด (Hz)					
	0.6			0.9		
	ครั้งที่1(W)	ครั้งที่2(W)	ครั้งที่3(W)	ครั้งที่1(W)	ครั้งที่2(W)	ครั้งที่3(W)
0	247	239	240	296	289	302
30	251	254	247	275	256	281
60	241	256	243	274	276	326
90	243	270	244	281	283	312
120	251	266	249	285	279	313
150	250	258	239	266	268	277
180	245	242	247	282	291	263
210	257	236	236	312	301	270
240	237	252	243	295	269	284
270	243	252	238	289	287	284
300	251	233	245	292	278	287
330	255	245	247	288	287	303
360	247	234	243	283	275	288
390	248	243	237	268	266	300
420	241	245	240	274	287	258
450	236	253	243	295	290	304
480	247	259	237	286	276	300
510	245	251	241	277	276	276
540	251	250	241	277	283	302
570	236	259	244	288	272	298
600	253	242	238	295	290	300

จากการทดลองสมรรถนะการบิดของเชื้อเพลิงได้ผลตามตารางที่ 4.3 จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางไปสร้างกราฟโดยให้แกน x เป็นเวลา(s)และแกน y เป็นเป็นค่ากำลังไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ (w)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองที่มีอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงที่ 0.6 Hz ครั้งที่ 1

จากนั้นทำการหาพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งหาได้จากผลรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู

$$\text{พื้นที่ของสี่เหลี่ยมคางหมู} = \frac{1}{2} \times \text{ผลบวกด้านคู่ขนาน} \times \text{สูง}$$

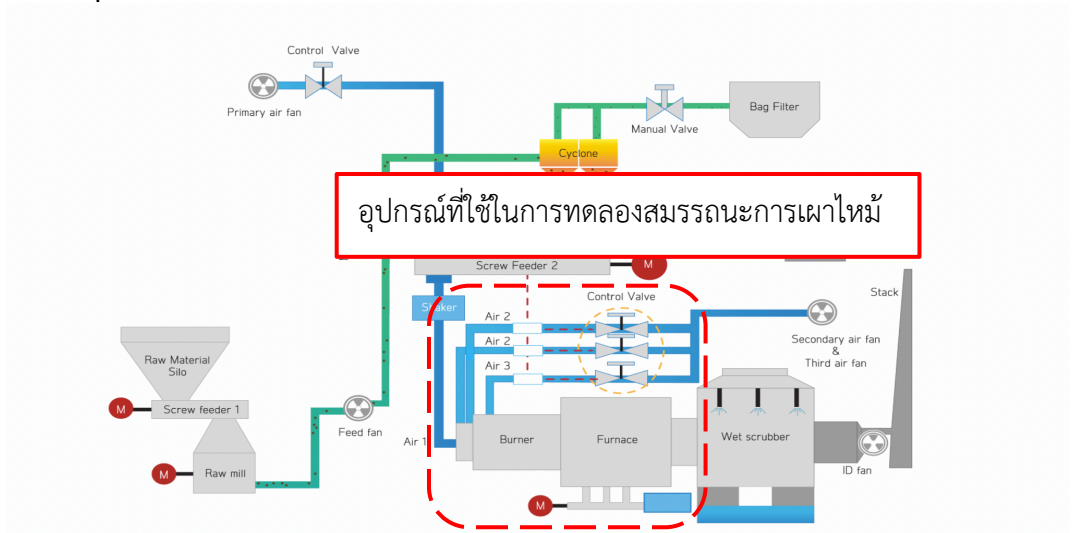
จึงได้พื้นที่ใต้กราฟของผลการทดลองที่มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 0.6 Hz ครั้งที่ 1

เท่ากับ 147,750 Joule

4.2.2 การทดลองสมรรถนะการเผาไหม้

ในการทดสอบการเผาไหม้เพื่อหาสมรรถนะการเผาไหม้ โดยการบันทึกการกระจายตัวของอุณหภูมิและองค์ประกอบไอเสีย เพื่อนำมาเปรียบเทียบและหาความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในอนาคต เชื้อเพลิง ชีวมวลที่จะนำมาทดสอบคือเชื้อเพลิงที่มีความสามารถในการถูกบดด้วยเครื่องบดแบบ hammer mill

4.2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



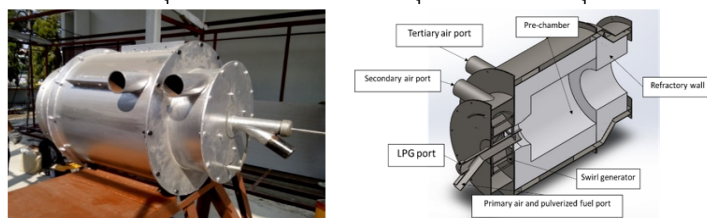
รูปที่ 4.6 แสดงอุปกรณ์ของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง

- หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่น

หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นสามารถอาจเรียกอีกชื่อว่า ห้องเผาไหม้ช่วย วัตถุประสงค์ของหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่นนี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ต้องใช้เวลาในการเผาไหม้เป็นเวลานาน เนื่องจากกระบวนการต่างๆ ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการสร้างห้องเผาไหม้ช่วยที่มีขนาดเล็กเพื่อให้กระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ช่วย รวมถึงมีส่วนช่วยในการรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟ

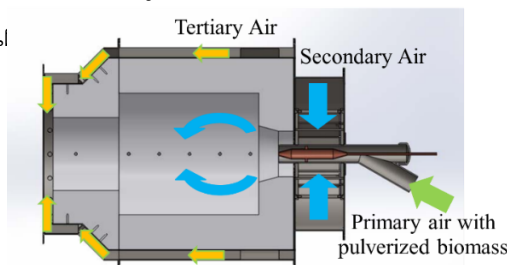
หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประกอบไปด้วย ห้องเผาไหม้ช่วยที่มีผนังเป็นอิฐทนไฟ ช่องทางเข้าอากาศส่วนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ ช่องทางเข้าของก๊าซ LPG อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควง และวัตถุขวางการไหล ดังที่แสดงใน

รูป 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงห้องเผาไหม้ช่วยและภาพตัดภายในของห้องเผาไหม้ช่วย [31]

อากาศในส่วนปฐมภูมิเป็นอากาศที่ใช้ในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผาผ่านช่องอากาศปฐมภูมิ แล้วผ่านวัตถุขวางการไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ อากาศส่วนทุติยภูมิไหลผ่านทางช่องทุติยภูมิผ่านอุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงเพื่อทำให้เกิดการคลุกเคล้าผสมกับอากาศส่วนปฐมภูมิและเชื้อเพลิงที่บริเวณช่วงต้นของห้องเผาไหม้ อากาศส่วนตติยภูมิเป็นอากาศสำหรับการหล่อเย็นผนังห้องเผาไหม้ จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้บริเวณปลายหัว



รูปที่ 4.8 แสดงทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้ช่วย [31]

- ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง

ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นระบบสำหรับรองรับการเผาไหม้ที่อยู่ภายนอกบริเวณของหัวเผา นั่นก็คือห้องเผาไหม้หลัก เป็นการจำลองห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำทางอุตสาหกรรม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.1 เมตร ยาว 1.2 เมตร ผนังหล่อด้วยปูนทนไฟ และเซรามิคไฟเบอร์ มีช่องสำหรับสังเกตเปลวไฟ 1 ช่อง และจุดวัดอุณหภูมิ 1 จุด ในการทดลองห้องเผาไหม้จะมีความดันติดลบ



รูปที่ 4.9 ห้องเผาไหม้หลัก

- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ในการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล ชนิด R โดยทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ช่วย 5 ตำแหน่ง และมีช่องสังเกตเปลวไฟด้านหน้า



รูปที่ 4.10 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด R [31]

- อุปกรณ์วัดองค์ประกอบของแก๊ส

อุปกรณ์วัดองค์ประกอบของแก๊สเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ปัญหาการเผาไหม้ โดยจะบอกปริมาณของก๊าซไอเสียที่อาจก่อให้เกิดมลพิษ ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวัดแก๊ส Testo 330-2LL ดังรูปที่ 4.11 วัดปริมาณ O_2 (ค่าความถูกต้อง 0.2% vol) CO (ค่าความถูกต้อง 20 ppm) NOx (ค่าความถูกต้อง 5 ppm) อุณหภูมิของแก๊สร้อน การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแก๊สร้อนและประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีความสามารถเพิ่มเติมในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูลแบบ real time



รูปที่ 4.11 อุปกรณ์วัดองค์ประกอบแก๊ส Testo 330-2LL [31]

- ระบบป้อนอากาศ

ระบบป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนนำอากาศเข้าและส่วนที่นำอากาศออก ซึ่งส่วนนำอากาศเข้าได้แก่ เครื่องเป่าลม (FD Fan) ชนิดแรงเหวี่ยง สำหรับป้อนอากาศ ส่วนปฐมภูมิ ทดียงภูมิ และตติยภูมิ วาล์วปีกผีเสื้อชนิดควบคุมด้วยสัญญาณดิจิทัลและอนาล็อก ทำการควบคุมอัตราการป้อนอากาศด้วยระบบ PLC (Programmable Logic Controller) และวัดอัตราการไหลจากความดันตกค่อมที่บริเวณแผ่นออริฟิซจาก Differential pressure transmitter และในส่วนของการนำอากาศออกจะอาศัยเครื่องเป่าลมแบบดูด (ID fan) ที่สร้างแรงดูดจากการเหวี่ยงใบพัดในการสร้างความดันต่ำในห้องเผาไหม้และดูดไอเสียเพื่อปล่อยสู่บรรยากาศ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) เครื่องเป่าลม (FD Fan) [31] (ข) เครื่องเป่าลมแบบดูด (ID Fan)



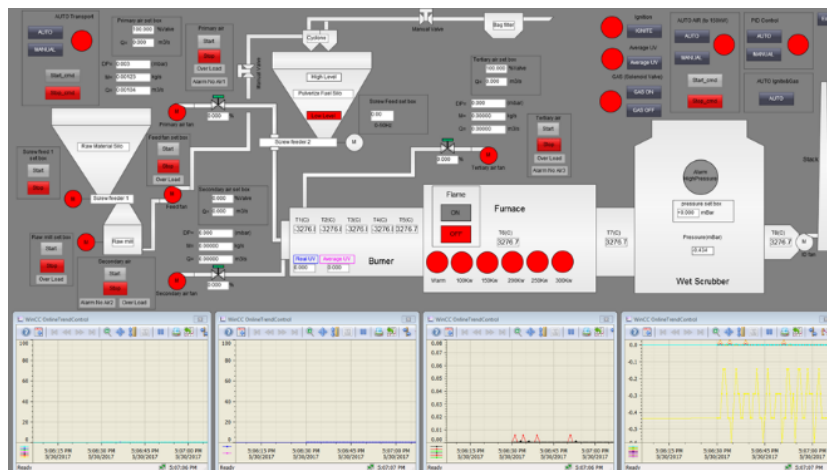
รูปที่ 4.13 แสดง ก.คอนโทรลลาลัว ข.แผ่นออริฟิส ค. Differential pressure sensor [31]



รูปที่ 4.14 แสดงอินเวอร์เตอร์ [31]

- ระบบควบคุมการการทดลอง

การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลตามเงื่อนไขการทดลองตามที่ได้กำหนดไว้จำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำในการทดลองโดยมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมการเผาไหม้โดยอาศัยชุดควบคุม Programmable Logic Controller หรือ PLC ในการรับข้อมูลจากเครื่องมือวัด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลเพื่อปรับแก้การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลอง การอ่านค่าข้อมูลสำหรับเก็บผลการทดลอง รวมไปถึงการแจ้งเตือนเพื่อความปลอดภัย



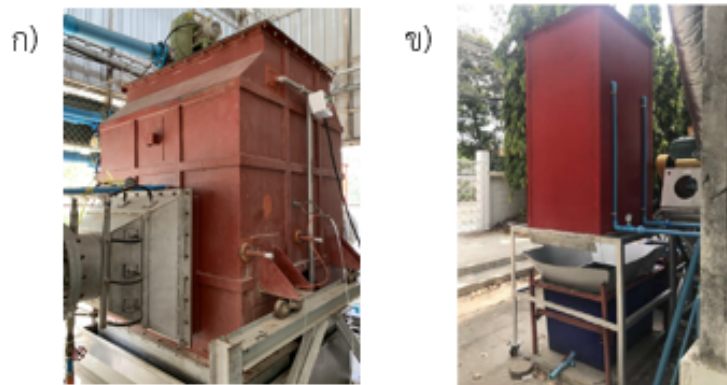
รูปที่ 4.15 โปรแกรมควบคุมหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น [31]



รูปที่ 4.16 ชุดควบคุม PLC [31]

● ระบบบำบัดไอเสีย

กระบวนการบำบัดไอเสียหลังจากการเผาไหม้เป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญเพื่อที่จะบำบัดแก๊สไอเสียก่อนจะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากในไอเสียนั้นเป็นไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงและประกอบไปด้วยอนุภาคของแข็งที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ดังนั้นการปล่อยก๊าซไอเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในทันทีจะทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีความจำเป็นในการบำบัดไอเสียก่อนปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในการลดอุณหภูมิและดักจับของแข็งในไอเสียจะใช้ระบบบำบัดที่ประกอบไปด้วย หอบำบัดเปียก (Wet scrubber) ดังที่แสดงในรูป 4.17 ก. ภายในได้ออกแบบให้ไอเสียไหลไปตามทางที่ออกแบบไว้เพื่อเพิ่มเวลาในการดักจับฝุ่น ภายในหอบำบัดเปียกได้ติดตั้งม่านน้ำชนิดสเปรย์สำหรับลดอุณหภูมิและดักจับอนุภาคของแข็ง จากนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดจะส่งไปลดอุณหภูมิที่หอผึ่งเย็น (cooling tower) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.17 ข. และนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง



รูปที่ 4.17 แสดง ก.หอบำบัดเปียก ข.หอผึ่งเย็น [31]

4.2.2.2 การทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

วัตถุประสงค์ : เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิและก๊าซไอเสียที่อัตราการเผาไหม้และอากาศส่วนเกินเดียวกันของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปรต้น : ชนิดของเชื้อเพลิง

ตัวแปรตาม : อุณหภูมิ ปริมาณ CO

ตัวแปรควบคุม : 1. ปริมาณอากาศส่วนเกิน 15%

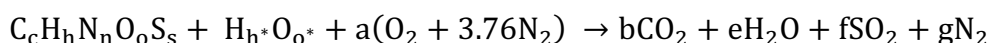
2. อัตราการเผาไหม้ 300 kw

วิธีการดำเนินงาน

1. เปิดเตาและทำการอุ่นด้วยแก๊ส LPG เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการป้อนเชื้อเพลิง
2. เริ่มเปลี่ยนค่าของกิโลวัตต์ความร้อนเมื่ออุณหภูมิของเตาเผาคงที่ที่ 300 KW
3. บันทึกค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และค่า CO จากเครื่องวัดก๊าซไอเสีย
4. เปลี่ยนเชื้อเพลิงแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3

4.2.2.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

เนื่องจากกำหนดให้การเผาไหม้ทางทฤษฎีมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับอากาศแห้งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), น้ำ (H₂O) และไนโตรเจน (N₂) เนื่องจากในเชื้อเพลิงมีส่วนผสมของซัลเฟอร์อยู่ด้วยทำให้เกิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เมื่อเราทำการพิจารณาเชื้อเพลิงจำนวน 1 kmol เพราะฉะนั้นสามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้



จากนั้นทำการดุลสมการ เพื่อหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

$$AF_{stoic} = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}} \quad (4.1)$$

เมื่อ AF_{stoic} คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

\dot{m}_{air} คือ อัตราการป้อนอากาศ (kg/s)

\dot{m}_{fuel} คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/s)

จากนั้นจะหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่การเผาไหม้ที่มีอากาศส่วนเกิน 15% ตามเงื่อนไขการทดลอง

จากสมการ

$$\phi = \left(\frac{AF_{stoic}}{AF_{act}} \right) \quad (4.2)$$

เมื่อ ϕ คือ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)
 AF_{stoic} คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
 AF_{act} คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ

โดยหาค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, ϕ) จากสมการ

$$\phi = \frac{1}{\left(\frac{\%excess\ air}{100} + 1 \right)} \quad (4.3)$$

เมื่อ ϕ คือ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)
 $\%excess\ air$ คือ เปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน

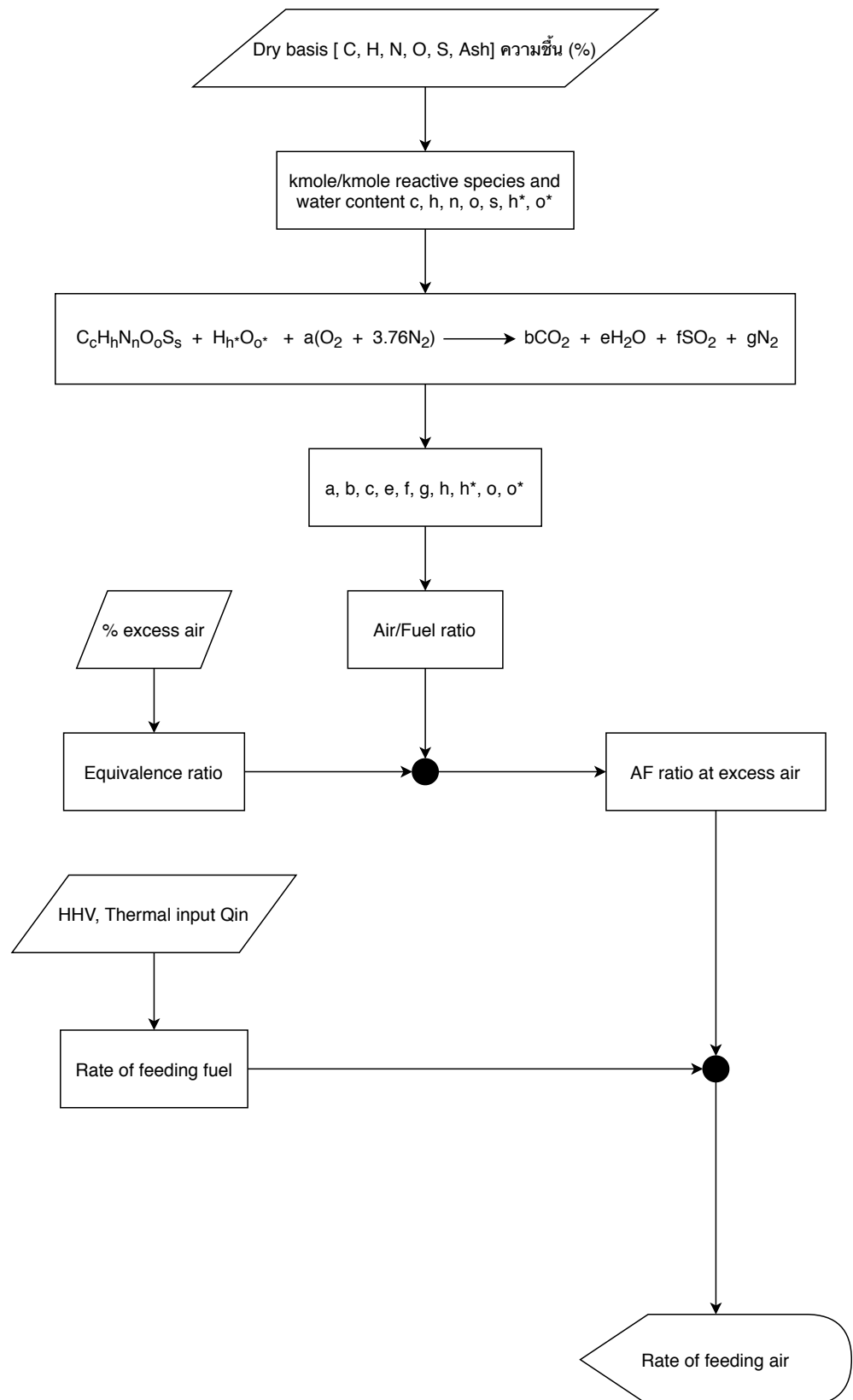
หลังจากได้ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่การเผาไหม้ที่อากาศส่วนเกิน 15% จะทำการหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิง จากสมการ

$$\dot{Q} = LHV\ (wet\ basis) \times \dot{m}_{fuel} \quad (4.4)$$

เมื่อ \dot{Q} คือ อัตราการเผาไหม้ (kW)
 LHV wet basis คือ ค่าความร้อนทางต่ำฐานเปียก (kJ/kg)
 \dot{m}_{fuel} คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/s)

จากนั้นจะสามารถหาค่าอัตราการป้อนอากาศได้ จากสมการ 4.1

โดยในการทดลองนี้มีการคำนวณโดย Microsoft excel ซึ่งสามารถทำการคำนวณตามวิธีดังนี้



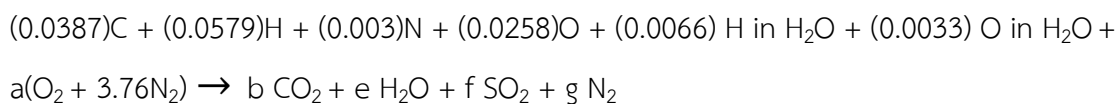
ตัวอย่างการคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดเม็ด

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์ โดยมวล	มวลโมเลกุล	kmole/1kg fuel	kmole/kmole reactive species and water content
คาร์บอน (C)	45.420	12	0.0378	0.0387
ไฮโดรเจน (H)	5.660	1	0.0566	0.0579
ไนโตรเจน (N)	0.450	14	0.0003	0.0003
ออกซิเจน (O)	40.370	16	0.0252	0.0258
ซัลเฟอร์ (S)	0.000	32	0.0000	0.0000
ขี้เถ้า (Ash)	2.290	-	-	-
Hydrogen in H ₂ O	0.646	1	0.0064	0.0066
Oxygen in H ₂ O	5.164	16	0.0032	0.0033

*kmole/kmole reactive species and water content = (kmole/per 1kg fuel)/(ผลรวมของเปอร์เซ็นต์โดยมวลของ C, H, N, O, S, H in H₂O, O in H₂O /100)

จากตารางที่ 4.1 สามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้



ทำการดุลสมการจะได้เป็น

$$a = (2b + e + 2f - O - O_{inH_2O})/2 \quad \rightarrow \quad a = 0.04031$$

$$b = C \quad \rightarrow \quad b = 0.03874$$

$$e = (H + H_{inH_2O})/2 \quad \rightarrow \quad e = 0.03227$$

$$f = S \quad \rightarrow \quad f = 0$$

$$g = (2 \times 3.76 \times a)/2 \quad \rightarrow \quad g = 0.15156$$

จากสมการที่ 4.1 สามารถหาค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้

$$AF_{stoic} = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}} = \frac{a \times ((2 \times 16) + (2 \times 3.76 \times 14))}{(C \times 12) + (H \times 1) + (N \times 14) + (O \times 16)} = \frac{5.5334}{0.9405} = 5.8833$$

จากนั้นหาค่า equivalence ratio จากสมการที่ 4.3

$$\phi = \frac{1}{\left(\left(\frac{\%excess\ air}{100}\right) + 1\right)} = \frac{1}{\left(\left(\frac{15}{100}\right) + 1\right)} = 0.8696$$

จากนั้นหาค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่การเผาไหม้ที่มีอากาศส่วนเกิน 15% ตามเงื่อนไขการทดลอง

จากสมการที่ 4.2

$$\phi = \left(\frac{AF_{stoic}}{AF_{act}}\right)$$

$$\text{จะได้ } AF_{act} = AF_{15\%excess\ air} = \frac{AF_{stoic}}{\phi} = \frac{5.8833}{0.8696} = 6.7658$$

จากนั้นหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจากสมการที่ 4.4

$$\dot{Q} = LHV \text{ (wet basis)} \times \dot{m}_{fuel}$$

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{300\ kW}{16142.52\ kJ/kg} = 0.0186$$

จากนั้นหาอัตราการป้อนอากาศหรือปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ได้จากสมการที่ 4.1

$$AF_{15\%excess\ air} = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}}$$

$$\dot{m}_{air} = AF_{15\%excess\ air} \times \dot{m}_{fuel} = 6.7658 \times 0.0186 = 0.1257\ kg/s$$

เพราะฉะนั้นจะได้อัตราการป้อนอากาศรวมเท่ากับ 0.1257 kg/s

จากนั้นคิดอัตราส่วนการป้อนอากาศของอากาศทั้งสามส่วน ด้วยอัตราส่วน 10 : 65 : 25

$$\text{อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ} = \frac{10}{100} \times 0.1257 = 0.0126\ kg/s$$

$$\text{อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ} = \frac{65}{100} \times 0.1257 = 0.0817\ kg/s$$

$$\text{อัตราการไหลของอากาศตติยภูมิ} = \frac{25}{100} \times 0.125739 = 0.0314\ kg/s$$

4.2.2 การทดลองการเกิดซีเมนต์ลอยและซีเมนต์หลอม

วัตถุประสงค์ : ในการทดสอบการเกิดซีเมนต์ลอยและซีเมนต์หลอมโดยการเก็บซีเมนต์หนักเพื่อนำไปหาปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่อปริมาณซีเมนต์ทั้งหมด เพราะปัญหาการเกาะพอกพูนของซีเมนต์ที่เกิดบนผิวท่อจะมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมเป็นปัจจัยหลัก ยิ่งมีปริมาณมากจะทำให้เกิดง่ายขึ้น

เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปรต้น : ชนิดของเชื้อเพลิง

ตัวแปรตาม : ปริมาณซีเมนต์หนัก

ตัวแปรควบคุม : 1. ปริมาณอากาศส่วนเกิน 15%

2. อัตราการเผาไหม้ 300 kw

วิธีการดำเนินงาน

1. หลังจากการทดลองที่ 2 เรื่องการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง รอให้ความร้อนของเตาเผาเย็นลง 2-3 วัน
2. ทำการเก็บซีเมนต์ที่ได้ออกมาจากท่อระบายซีเมนต์
3. ส่งไปตรวจหาปริมาณของธาตุโพแทสเซียมในซีเมนต์
4. บันทึกค่าลงในตาราง
5. เปลี่ยนเชื้อเพลิงแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1-4
6. นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับองค์ประกอบที่ทำให้เกิดซีเมนต์ลอยและซีเมนต์หลอม

ตารางที่ 4.5 ตารางเก็บผลการทดลองการเกิดซีเมนต์ลอยและซีเมนต์หลอม

ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวล	
องค์ประกอบของซีเมนต์	wt% (ash)
SO ₃	
P ₂ O ₅	
SiO ₂	
Fe ₂ O ₃	
Al ₂ O ₃	
MgO	
Na ₂ O	
K ₂ O	
TiO ₂	

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองตามที่ได้แสดงวิธีการทดลองไว้ก่อนหน้านี้ ภายในประกอบไปด้วย ผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบด ผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิง ผลการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ เนื่องจากไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ตามที่วางแผนไว้ ในการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ได้เปลี่ยนจากการทดลองเป็นการจำลองการเผาไหม้ในโปรแกรม Ansys Fluent แทน และการศึกษาการเกิดซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอย ซึ่งจะใช้การสรุปผลจากองค์ประกอบเชื้อเพลิงแทน

5.1 ผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์

จากขั้นตอนการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.1 ได้ผลการคัดเลือกดังนี้

- การคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยทั้ง 18 ชนิด มาคัดเลือกเหลือแค่ชีวมวล 10 ชนิดที่เป็นพืชเศรษฐกิจและสามารถหาได้ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย

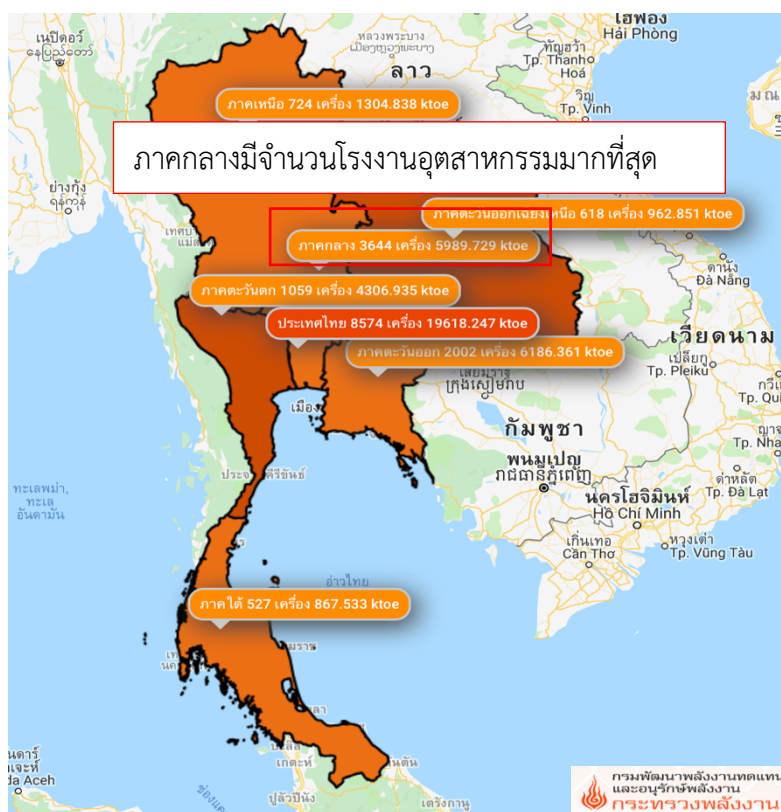
ชีวมวลในประเทศไทยที่มีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิงมี 18 ชนิด ได้แก่

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. เปลือกไม้ยูคาลิปตัส | 10. ใบและยอดอ้อย |
| 2. เนื้อไม้ยูคาลิปตัส | 11. เนื้อไม้กระถินยักษ์ |
| 3. กิ่งยางพารา | 12. เปลือกข้าวโพด |
| 4. เนื้อไม้ยางพารา | 13. ชังข้าวโพด |
| 5. ปีกไม้ยางพารา | 14. ต้นข้าวโพด |
| 6. กะลาปาล์ม | 15. เหม้ามันสำปะหลัง |
| 7. ทะลายปาล์ม | 16. เศษไม้ไผ่ |
| 8. ฟางข้าว | 17. ชานอ้อย |
| 9. แกลบ | 18. เส้นใยปาล์ม |

เหตุผลที่ใช้ชีวมวลที่สามารถหาได้ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทยนั้น เป็นเพราะบริเวณภาคกลางมีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุด ดังนั้นเพื่อเป็นการสะดวกต่อการจัดหาและการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลจึงเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถจัดหาได้บริเวณภาคกลางของประเทศไทย

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย

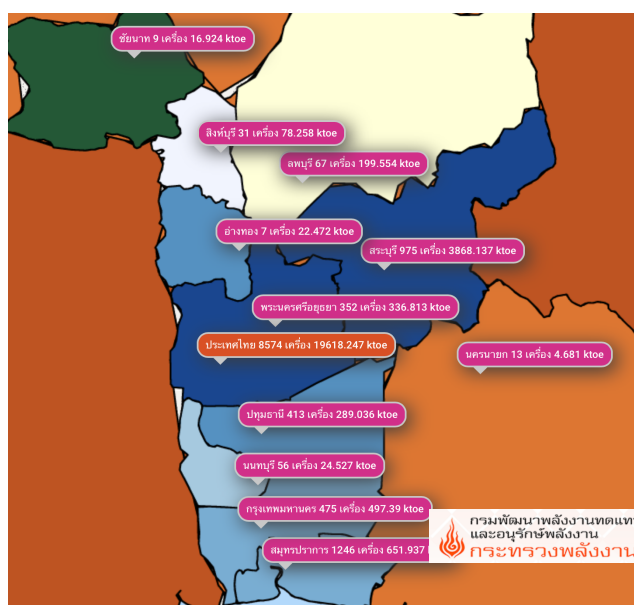
ภูมิภาค	จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง)
ภาคเหนือ	724
ภาคกลาง	3644
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	618
ภาคตะวันตก	1059
ภาคตะวันออก	2002
ภาคใต้	527
รวม	8574



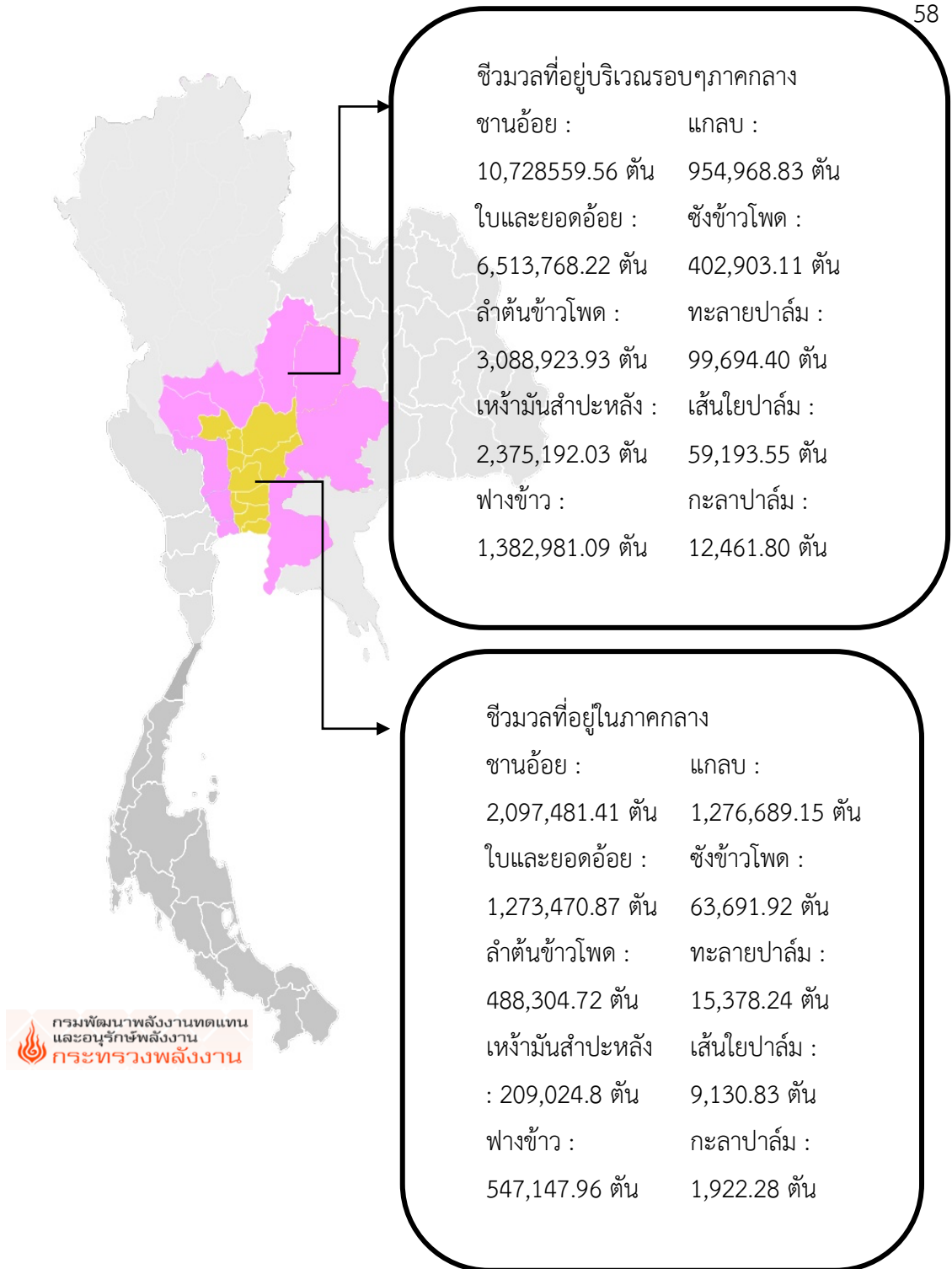
รูปที่ 5.1 แสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย
ปีพ.ศ.2561 [25]

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละจังหวัดภายในภาคกลาง

จังหวัด	จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง)
ชัยนาท	9
สิงห์บุรี	31
ลพบุรี	67
อ่างทอง	7
สระบุรี	975
พระนครศรีอยุธยา	352
นครนายก	13
ปทุมธานี	413
นนทบุรี	56
กรุงเทพมหานคร	475
สมุทรปราการ	1246
รวม	3644



รูปที่ 5.2 แสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (เครื่อง) ในแต่ละจังหวัดภายในภาคกลาง
ปีพ.ศ.2561 [25]



รูปที่ 5.3 แสดงจำนวนชีวมวลที่ผลิตภายในปี พ.ศ. 2561 บริเวณภาคกลางและจังหวัดรอบๆภาคกลาง [25]

ชีวมวล 10 ชนิดที่เป็นพืชเศรษฐกิจและสามารถหาได้ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่

1. กะลาปาล์ม
2. ทะลายปาล์ม
3. ฟางข้าว
4. แกลบ
5. ใบและยอดอ้อย
6. ชังข้าวโพด
7. ลำต้นข้าวโพด
8. เหง้ามันสำปะหลัง
9. ชานอ้อย
10. เส้นใยปาล์ม

• ทำแบบสอบถามเรื่องปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงานแบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละปัจจัยที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยมีการตอบกลับจากโรงงานทั้งหมด 16 โรงงาน

ปัจจัยสำคัญ ในการเลือกซื้อชีวมวลมาใช้ ในโรงงาน

วัตถุประสงค์แบบสอบถามนี้จัดทำเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับศึกษาค้นคว้าเพื่อการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*จำเป็น

ภูมิภาคที่ตั้งโรงงานของท่าน *

- ภาคเหนือ
- ภาคกลาง
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ภาคตะวันออก
- ภาคใต้

ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และทางเทคนิค

ความหมายของการให้คะแนน
5 = ให้ความสำคัญมากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = น้อยที่สุด

ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ *

	5	4	3	2	1
ราคาของชีวมวล (บาท/ตัน)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
สามารถจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปี	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ความสะดวกในการขนส่งชีวมวล	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ปัจจัยทางเทคนิค *

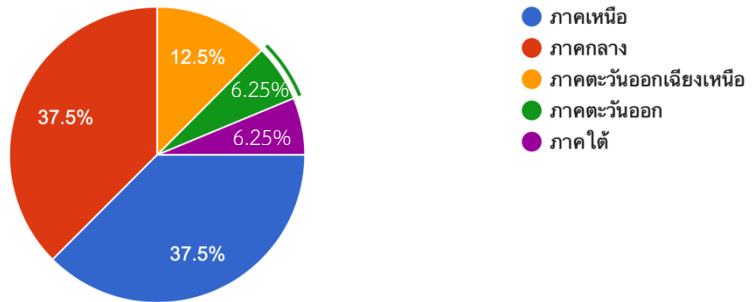
	5	4	3	2	1
ค่าความร้อนสุทธิ (ผลจากความชื้นเสียจากความชื้น) (kJ/kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ปริมาณความชื้นของชีวมวล (%)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ปัญหาจากสิ่งเจือปนต่างเป็นพิษภายในท่อเผาไหม้ (agglomeration)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ปัจจัยด้านความคุ้มค่า *

	5	4	3	2	1
ค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งหน่วยพลังงาน (Bahr/MJ)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

รูปที่ 5.4 แบบสอบถามเรื่องปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงาน

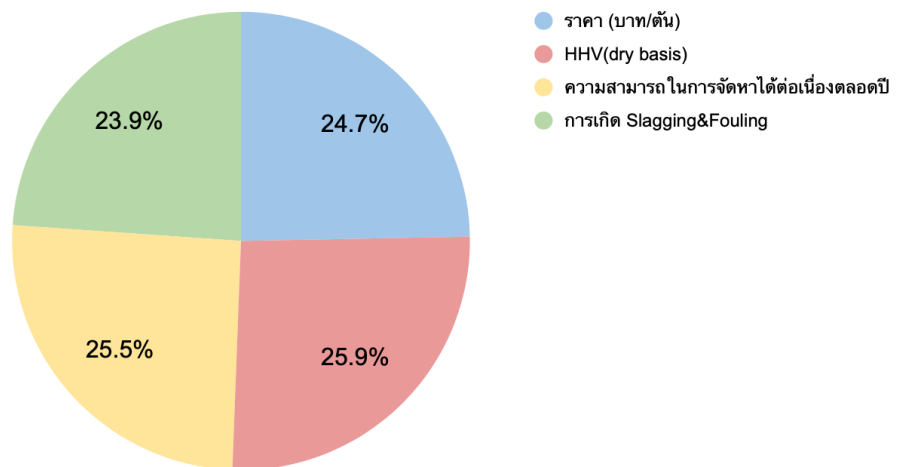
ภูมิภาคที่ตั้งโรงงานของท่าน
คำตอบ 16 ข้อ



รูปที่ 5.5 แสดงอัตราส่วนของภูมิภาคที่ตั้งของโรงงานที่ได้ทำแบบสอบถาม

จากแบบสอบถามได้ผลการตอบกลับว่าค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด โดยสามารถแบ่งเป็นอัตราส่วนได้ดังรูปที่ 5.4

แผนภูมิแสดงอัตราส่วนของตัวแปรที่ใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ 5.6 แผนภูมิแสดงอัตราส่วนของตัวแปรที่ใช้ในการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวล

- นำข้อมูลของปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ (ราคา, ความสามารถในการจัดหาได้ ต่อเนื่องตลอดปี, ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น, การสะสมตัวของซีเมนต์ห่อและซีเมนต์ ลอย) มาเปรียบเทียบกัน

- ปัจจัยทางด้านราคา [26],[27]

ตารางที่ 5.3 แสดงราคาของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดในปี พ.ศ.2561

ชนิดของชีวมวล	ราคาของชีวมวล (บาท)
กะลาปาล์ม	3200
ทะลายปาล์ม	250
ฟางข้าว	1563
แกลบ	1565
ใบ/ยอดอ้อย	3250
ซังข้าวโพด	1100
ต้นข้าวโพด	1300
เหง้ามันสำปะหลัง	700
ชานอ้อย	3250
เส้นใยปาล์ม	450

เกณฑ์การให้คะแนนคิดจากความกว้างชั้นทางสถิติ ได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของราคาชีวมวลเป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน

ราคาของชีวมวล (บาท)	คะแนน เต็ม 10 คะแนน
250 - 550	10
560 - 850	9
860 - 1150	8
1160 - 1450	7
1460 - 1750	6
1760 - 2050	5
2060 - 2350	4
2360 - 2650	3
2660 - 2950	2
2960 - 3250	1

- ความสามารถในการจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปี [27]

ชนิดพืช	ชนิดชีวมวล	ภูมิภาค	ปีปฏิทิน (พ.ศ.2561)													
			ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
ข้าวนาปี	แกลบนาปี	ภาคกลาง														
	ฟางข้าวนาปี	ภาคกลาง														
ข้าวนาปรัง	แกลบนานาปรัง	ภาคกลาง														
	ฟางข้าวนาปรัง	ภาคกลาง														
อ้อยโรงงาน	ชานอ้อย	ภาคกลาง														
	ใบอ้อยและยอดอ้อย	ภาคกลาง														
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซึ่งข้าวโพด	ภาคกลาง														
	ลำต้นข้าวโพด	ภาคกลาง														
มันสำปะหลัง	เหง้ามันสำปะหลัง	ภาคกลาง														
	ลำต้นมันสำปะหลัง	ภาคกลาง														
ปาล์มน้ำมัน	กะลาปาล์ม	ภาคกลาง														
	เส้นใย	ภาคกลาง														
	ทะลายปาล์มเปล่า	ภาคกลาง														
	หางปาล์ม	ภาคกลาง														

รูปที่ 5.7 ปฏิทินชีวมวลของปี พ.ศ 2561

เกณฑ์การให้คะแนนคิดจากอัตราส่วนของผลผลิตต่อปี ได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของความสามารถในการจัดหาได้ต่อเนื่องตลอดปีของชีวมวล เป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน

ความสามารถในการจัดหาได้ ต่อเนื่องตลอดปี (เดือน)	คะแนน เต็ม 10 คะแนน
12	10.00
11	9.17
10	8.33
9	7.50
8	6.67
7	5.83
6	5.00
5	4.17
4	3.33
3	2.50
2	1.67
1	0.83

- ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น [28]

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น (MJ/kg) ของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดของชีวมวล	ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น (MJ/kg)
กะลาปาล์ม	21.35
ทะลายปาล์ม	17.94
ฟางข้าว	15.95
แกลบ	16.00
ใบ/ยอดอ้อย	17.84
ซังข้าวโพด	15.58
ต้นข้าวโพด	17.36
เหง้ำมันสำปะหลัง	15.00
ชานอ้อย	16.91
เส้นใยปาล์ม	19.17

เกณฑ์การให้คะแนนคิดจากความกว้างชั้นทางสถิติ ได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น (MJ/kg.%ความชื้น)

เป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน

ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น (MJ/kg)	คะแนน เต็ม 10 คะแนน
15.00 - 15.64	1
15.65- 16.29	2
16.30 - 16.94	3
16.95 - 17.59	4
17.60 - 18.24	5
18.25 - 18.89	6
18.90 - 19.54	7
19.55 - 20.19	8
20.20 - 20.84	9
20.85- 21.49	10

- การสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอย [3]

การสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยจากการเผาไหม้ เกิดจากธาตุโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) โดยสาเหตุหลักๆมาจากธาตุโพแทสเซียม (K) เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีโพแทสเซียมมากกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้งจะมีโอกาสที่จะเกิดการสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยมาก

ตารางที่ 5.8 แสดงปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม (%) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ชนิดของชีวมวล	ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม (%)
กะลาปาล์ม	0.26
ทะลายปาล์ม	4.19
ฟางข้าว	2.95
แกลบ	0.77
ใบ/ยอดอ้อย	0.70
ซังข้าวโพด	1.37
ต้นข้าวโพด	0.90
เหง้ำมันสำปะหลัง	1.91
ชานอ้อย	0.81
เส้นใยปาล์ม	2.07

เกณฑ์การให้คะแนนคิดจากความกว้างชั้นทางสถิติ ได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนของปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม (%) เป็นคะแนนเต็ม 10 คะแนน

ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม (%)	คะแนน เต็ม 10 คะแนน
0.26 - 0.65	10
0.65 - 1.05	9
1.05 - 1.44	8
1.44 - 1.83	7
1.83 - 2.23	6
2.23 - 2.63	5
2.63 - 3.02	4
3.02 - 3.41	3
3.41 - 3.80	2
3.80 - 4.20	1

จากเกณฑ์การให้คะแนนของแต่ละปัจจัยจะได้คะแนนเต็ม 10 คะแนนของแต่ละเชื้อเพลิงออกมาดัง
ตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงคะแนนเต็ม 10 คะแนนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดชีวมวล	ค่าความร้อน สุทธิหลังหักค่า ความชื้น (10 คะแนน)	ราคา (10 คะแนน)	ความสามารถใน การจัดหาได้ ต่อเนื่องตลอดปี (10 คะแนน)	การสะสมตัวของ ขี้เถ้าหลอมและ ขี้เถ้าลอย (10 คะแนน)
กะลาปาล์ม	10	1	10	10
ทะลายปาล์ม	5	10	10	1
ฟางข้าว	2	6	3	4
แกลบ	2	6	3	9
ใบ/ยอดอ้อย	5	1	4	9
ซังข้าวโพด	1	8	5	8
ต้นข้าวโพด	4	7	5	9
เหง้ามันสำปะหลัง	1	9	10	6
ชานอ้อย	3	1	4	9
เส้นใยปาล์ม	7	10	10	6

- นำข้อมูลที่เป็นคะแนนเต็มสิบมาให้เจ้าหน้าที่ความสำคัญตามผลที่ได้มาจากแบบสอบถาม โดยคิดเป็นคะแนนรวมเต็มร้อย โดยได้ผลดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงคะแนนเต็ม 100 คะแนนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดชีวมวล	ค่าความร้อน สุทธิหลังหัก ค่าความชื้น (25.90%)	ราคา (24.70%)	ความสามารถ ในการจัดหาได้ ต่อเนื้อตลอดปี (25.50%)	การสะสมตัว ของซีไธ้าหลอม และซีไธ้าลอย (23.90%)	Total (100)
กะลาปาล์ม	25.90	2.47	25.50	23.90	77.77
ทะลายปาล์ม	12.95	24.70	25.50	2.39	65.54
ฟางข้าว	5.18	14.82	8.49	9.56	38.05
แกลบ	5.18	14.82	8.49	21.51	50.00
ใบ/ยอดอ้อย	12.95	2.47	10.63	21.51	47.56
ซังข้าวโพด	2.59	19.76	12.75	19.12	54.22
ต้นข้าวโพด	10.36	17.29	12.75	21.51	61.91
เหง้ามันสำปะหลัง	2.59	22.23	25.50	14.34	64.66
ชานอ้อย	7.77	2.47	10.63	21.51	42.38
เส้นใยปาล์ม	18.13	24.70	25.50	14.34	82.67

- คัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคะแนนสูงสุด 3 ชนิด เพื่อนำมาคัดเลือกผ่านปัจจัยทางด้านเทคนิค จากตารางที่ 5.11 เชื้อเพลิงที่มีคะแนนสูงสุด 3 ลำดับ คือ
 1. เส้นใยปาล์ม
 2. กะลาปาล์ม
 3. ทะลายปาล์ม

5.2 ผลการทดลองสมรรถนะการบิด

ในการทดลองสมรรถนะการบิด ประกอบด้วยการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบิด และการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบิดเชื้อเพลิง

20.85.1 ผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบิด

ตารางที่ 5.12 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบิดของไม้ยางพารา

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Hz)	ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)		
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.5	1.2	1.4	1.30
0.7	1.9	2.0	1.95
0.9	3.5	3.7	3.60
1.1	5.9	6.0	5.95
1.3	7.0	7.3	7.15
1.5	7.32	7.6	7.46

ตารางที่ 5.13 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบิดของกะลาปาล์ม

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Hz)	ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)		
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.5	1.0	1.0	1.00
0.7	1.3	1.5	1.38
0.9	2.9	3.0	2.95
1.1	4.4	4.5	4.45
1.3	5.5	5.4	5.45
1.5	6.3	6.6	6.45

ตารางที่ 5.14 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดของทะเลายปาล์ม

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Hz)	ปริมาณเชื้อเพลิง (g)		
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.5	-	-	-
0.7	-	-	-
0.9	-	-	-
1.1	-	-	-
1.3	-	-	-
1.5	-	-	-

หมายเหตุ ไม่สามารถเก็บค่าได้เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใยทำให้สกรูลำเลียงไม่สามารถขนส่งได้

ตารางที่ 5.15 ตารางเก็บผลการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดของเส้นใยปาล์ม

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Hz)	ปริมาณเชื้อเพลิง (g)		
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.5	-	-	-
0.7	-	-	-
0.9	-	-	-
1.1	-	-	-
1.3	-	-	-
1.5	-	-	-

หมายเหตุ ไม่สามารถเก็บค่าได้เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใยทำให้สกรูลำเลียงไม่สามารถขนส่งได้

การสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบด เพื่อหาความถี่อินเวอร์เตอร์ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้มีค่าเท่ากันสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด การทดลองจะทดลองที่ 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5 Hz ทำซ้ำ 2 ครั้ง ในการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดจะอาศัยความสัมพันธ์ของความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s) จากการทดลองพบว่า สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s) ได้ดังสมการนี้

สมการความสัมพันธ์ของความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s) ของไม้ยางพารา

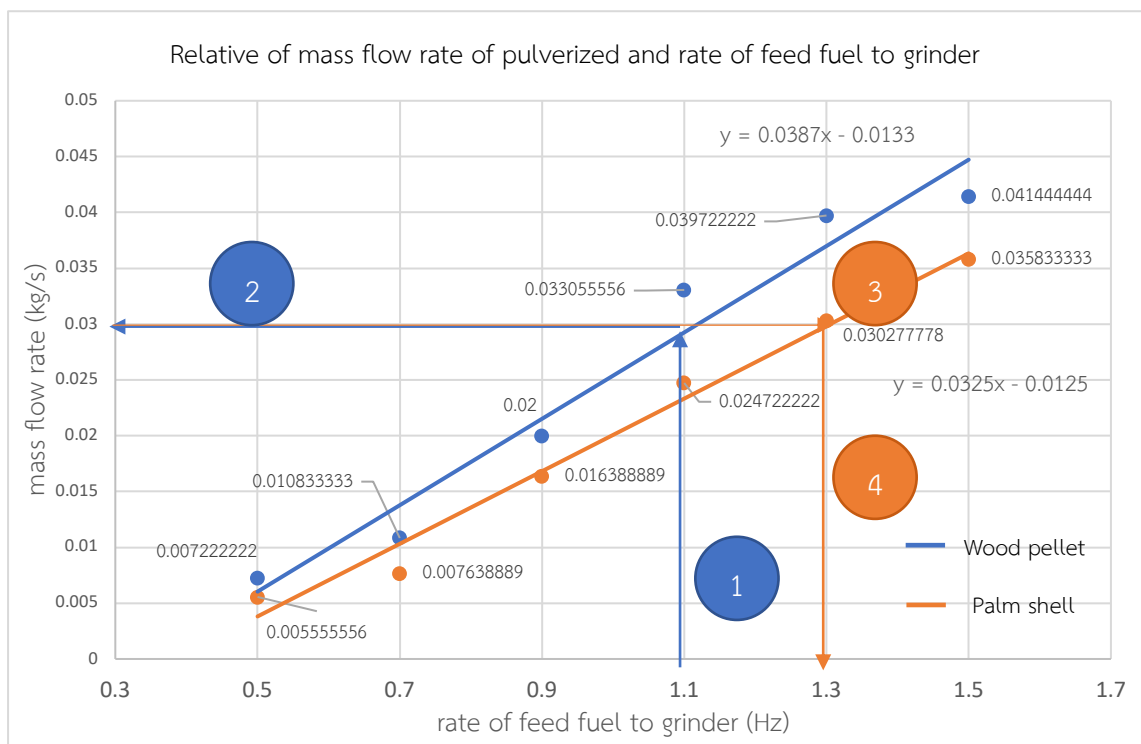
$$y = 0.0378x - 0.0133 \quad (5.1)$$

สมการความสัมพันธ์ของความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s) ของกะลาปาล์ม

$$y = 0.0325x - 0.0125 \quad (5.2)$$

เมื่อ y คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

x คือ ความถี่ของสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบด (Hz)



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s)

จากการสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบดของทะเลยาปาล์มและเส้นใยปาล์ม ได้พบปัญหาในการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่สกรูลำเลียง ซึ่งเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นเส้นใยสูง และน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) ทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนลำเลียงเชื้อเพลิงผ่านสกรูลำเลียงลงมาสู่เครื่องบด ดังรูป จากการทดลองสมรรถนะการบดไม้ยางพาราอัดเม็ดซึ่งเป็นกรณีอ้างอิง ได้ผลการทดลองว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.8 ถึง 1.1 Hz ซึ่งถ้ามากกว่านี้อาจจะทำให้เชื้อเพลิงไปสะสมอยู่บริเวณเหนือตะแกรงซึ่งอาจจะทำให้เกิดความร้อนสะสมและเกิดการลุกไหม้ได้ จากผลการทดลองจะพบว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบดที่ 1.1 Hz ของไม้ยางพาราดังลูกครสีฟ้าหมายเลข 1 จะมีอัตราการไหลเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.3 kg/s ตามลูกครสีฟ้าหมายเลข 2 ในรูปที่ 5.8 และในอัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกันกะลาปาล์มจะต้องใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 1.3 Hz โดยลูกครสีส้มหมายเลข 3 และตัดแกน x ด้วยลูกครหมายเลข 4 ซึ่งการสอบเทียบนี้จะสามารถหาอัตราการป้อนที่เหมาะสมของแต่ละเชื้อเพลิงได้ ซึ่งทำให้ลดตัวแปรเกี่ยวกับความหนาแน่นของเชื้อเพลิงออกไปได้ ซึ่งจะเหลือเพียงลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเท่านั้น



รูปที่ 5.9 ทะเลยาปาล์มที่ไม่สามารถผ่านสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงลงสู่เครื่องบดได้



รูปที่ 5.10 เส้นใยปาล์มที่ไม่สามารถผ่านสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงลงสู่เครื่องบดได้

5.2.2 ผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิง

การทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงสามารถทำได้เพียงไม่เพียงพอเนื่องจากไม่สามารถเข้าไปดำเนินการทดลองในห้องทดลองได้

เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปรต้น : ชนิดของเชื้อเพลิง 4 ชนิด (กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม โยปาล์ม ไม้ยางพารา(กรณีอ้างอิง))

ตัวแปรตาม : อัตราการบด (kg/min) และ Specific energy consumption (kJ/kg)

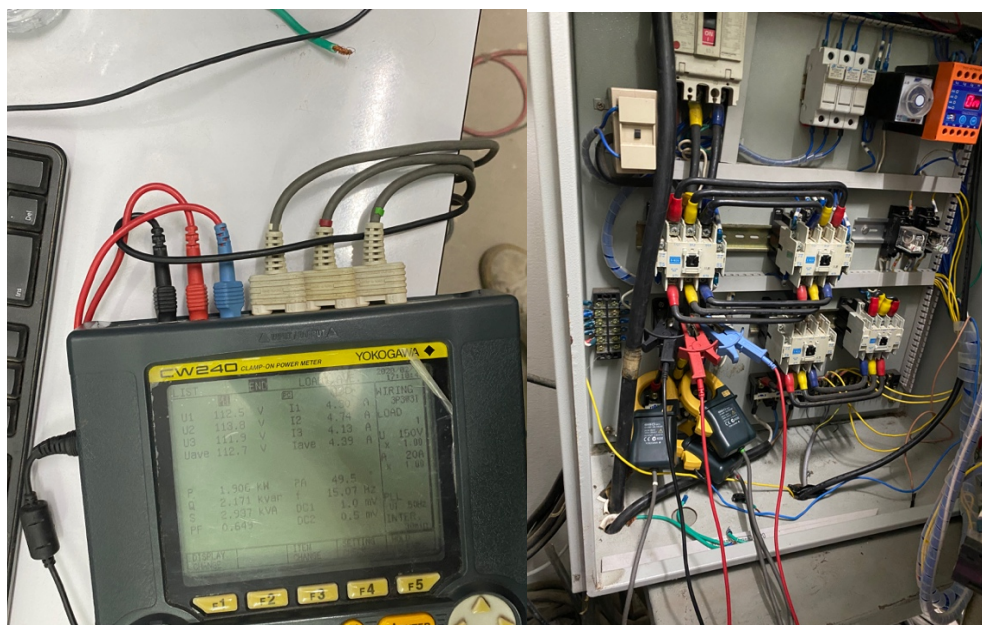
ตัวแปรควบคุม : 1. เวลา 10 นาที

2. ขนาดของตะแกรง 0.5 mm. และ 1 mm.

3. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเครื่องบด (Hz) ใช้ผลที่ได้จากหัวข้อ 5.2.1

4. กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 30 แอมป์แปร์

จากการทดลองได้มีการวัดกำลังไฟฟ้าด้วย Power meter เพื่อที่จะนำมาหาพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 5.11 Power meter ที่ทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงขณะทำการทดลอง

ตารางที่ 5.16 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของไม้ยางพารา

No.	Rate of feed fuel (Hz)	Weight (kg)	Energy (J)	Specific energy consumption (kJ/kg)	Specific energy consumption average (kJ/kg)
		10 min			
1	0.6	4.87	147,750	30.3388	30.3424
2		5.07	149,955	29.5769	
3		4.67	145,290	31.1113	
4	0.9	10.38	170,475	16.4234	16.3948
5		10.24	168,495	16.4545	
6		10.77	175,620	16.3064	

ตารางที่ 5.17 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของกะลาปาล์ม

No.	Rate of feed fuel (Hz)	Weight (kg)	Energy (J)	Specific energy consumption (kJ/kg)	Specific energy consumption average (kJ/kg)
		10 min			
1	0.6	-	-	-	-
2		-	-	-	
3		-	-	-	
4	0.9	-	-	-	-
5		-	-	-	
6		-	-	-	

หมายเหตุ : ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด COVID – 19

ตารางที่ 5.18 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบัดของทะเลาะปาล์ม

No.	Rate of feed fuel (Hz)	Weight (kg)	Energy (J)	Specific energy consumption (kJ/kg)	Specific energy consumption average (kJ/kg)
		10 min			
1	0.6	-	-	-	-
2		-	-	-	
3		-	-	-	
4	0.9	-	-	-	-
5		-	-	-	
6		-	-	-	

หมายเหตุ : ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด COVID - 19

ตารางที่ 5.19 ตารางเก็บผลการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบัดของเส้นใยปาล์ม

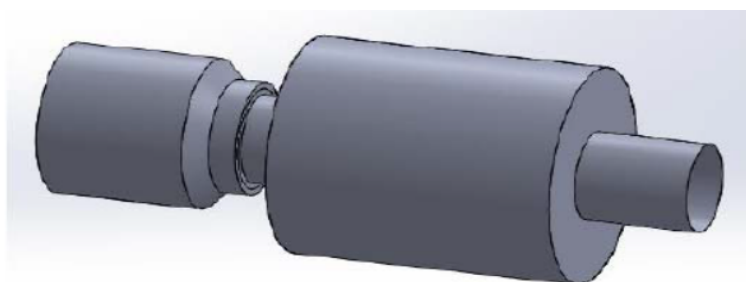
No.	Rate of feed fuel (Hz)	Weight (kg)	Energy (J)	Specific energy consumption (kJ/kg)	Specific energy consumption average (kJ/kg)
		10 min			
1	0.6	-	-	-	-
2		-	-	-	
3		-	-	-	
4	0.9	-	-	-	-
5		-	-	-	
6		-	-	-	

หมายเหตุ : ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด COVID - 19

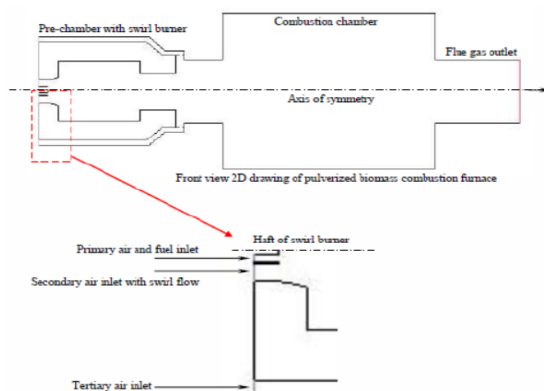
5.3 ผลการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้

ในการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ได้นำแบบจำลองหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นในห้องปฏิบัติการจากบทความทางวิชาการของคุณนิวัฒน์ [29] มาใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดเชื้อเพลิง โดยจากการสอบทวนงานวิจัยเบื้องต้นเพื่อนำมาอ้างอิงพบว่า บทความได้ศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้โปรแกรมจำลองการเผาไหม้ (Ansys Fluent) ซึ่งขั้นตอนแรกได้ออกแบบห้องเผาไหม้เป็นรูปทรง 3 มิติ ดังรูปที่ 5.12 เพื่อหาทิศทางของความเร็วในแนวแกน (Axial Velocity) และแนวเส้นสัมผัส (Tangential Velocity) ของอากาศส่วนที่ 2 อันเนื่องมาจากการหมุนควง (Swirl flow) เมื่อได้ทิศทางความเร็วดังกล่าวแล้วจึงทำการปรับลดปริมาณกริดโดยการตัดโดเมนของ swirl box ได้ปรับห้องเผาไหม้เป็น 2 มิติ จากสมมติฐานรูปแบบการเผาไหม้ที่สมมาตร ซึ่งภายในห้องเผาไหม้มีส่วนประกอบดังรูปที่ 5.13 และได้ทำการแบ่งกริดของห้องเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 5.14 จะเห็นว่าปริมาณกริด บริเวณหัวเผาจะมีความละเอียดมากกว่าเนื่องจากเป็นพื้นที่ในการเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแสดงในรูปที่ 5.15 ในส่วนของทิศทางการไหลของอากาศที่เข้ามาในห้องเผาไหม้แบบ 2 มิติ ได้ทำการใส่เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector) ในแนวแกนและแนวเส้นสัมผัสที่เกิดจากการทำการจำลองการไหลในรูปแบบ 3 มิติ และใช้อัตราการเผาไหม้ 300 กิโลวัตต์ อากาศส่วนเกิน 15 %

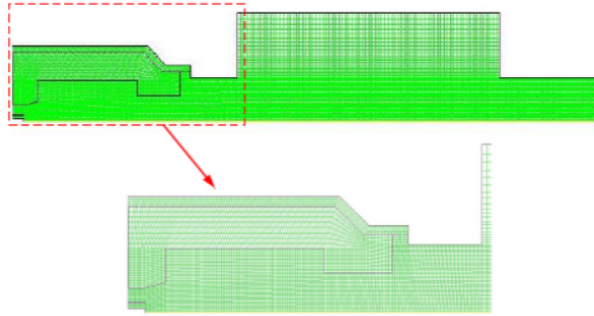
โดยสมการที่ใช้ในการจำลอง มีดังนี้ แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable K-epsilon แบบจำลองการเผาไหม้ Eddy Dissipation และแบบจำลองการแผ่รังสี Discrete Ordinates



รูปที่ 5.12 แสดงแบบจำลองห้องเผาไหม้ 3 มิติ [29]

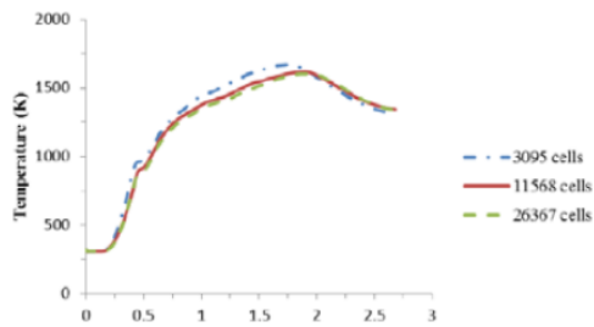


รูปที่ 5.13 แสดงแบบจำลองห้องเผาไหม้ 2 มิติ และส่วนประกอบ [29]

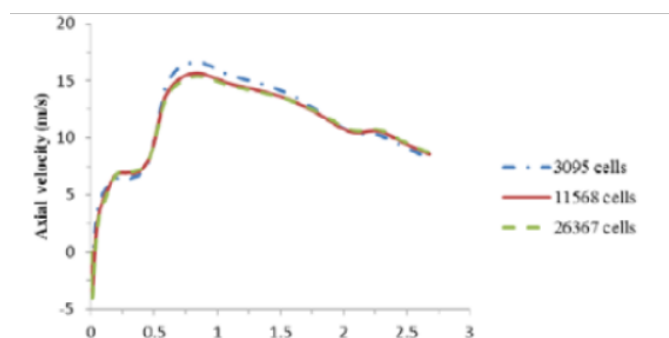


รูปที่ 5.14 แสดงการแบ่งกริดของห้องเผาไหม้แบบ 2 มิติ [29]

จากการจำลองการเผาไหม้ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแต่เปลี่ยนความละเอียดของกริด เพื่อหาความละเอียดของกริดที่เหมาะสม โดยแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผากับอุณหภูมิ บริเวณแกนกลางห้องเผาไหม้ แสดงดังรูปที่ 5.15 และความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผากับความเร็วในห้องเผาไหม้ แสดงดังรูปที่ 5.16



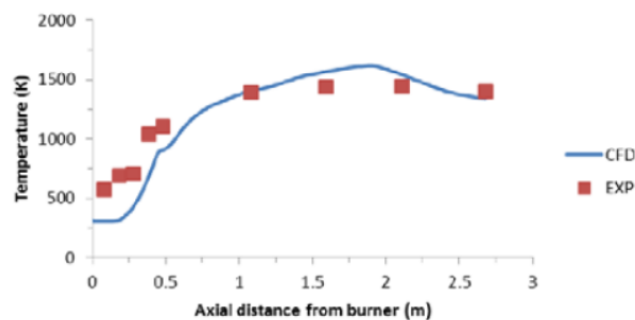
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผา (m) กับอุณหภูมิ (K) [29]



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผา (m) กับความเร็วในห้องเผาไหม้ (m/s) [29]

จากผลการทดลองเมื่อได้ทำการแบ่งความละเอียดของจำนวนกริดที่ 3095 เซลล์จะสังเกตเห็นเส้นกราฟแสดงค่าที่มากกว่าเส้นของความละเอียดกริดที่ 11568 และ 26367 เซลล์ แสดงว่าปริมาณกริดที่ 3095 เซลล์ยังมีความละเอียดที่ไม่มากพอที่จะนำมาใช้ในการทดลองได้ ส่วนความละเอียดกริดที่ 11568 และ 26367 เซลล์ให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกันแสดงดังกราฟที่มีการซ้อนทับกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ความละเอียดกริดที่ 11568 เซลล์เนื่องจากให้ผลการจำลองที่แม่นยำและใช้เวลาในการทำการจำลองน้อยกว่า

จากนั้นผู้ทดลองได้นำกริดที่มีความละเอียด 11586 เซลล์มาทำการสอบเทียบ (Validation) และจากการสอบเทียบกันของผลการจำลองและการทดลองดังในรูปที่ 5.17 แสดงผลโดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผากับอุณหภูมิ เส้นสีฟ้า คือผลที่เกิดจากการจำลอง สีเหลี่ยมสีแดง คืออุณหภูมิจริงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งนั้นๆ



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหัวเผา (m) กับอุณหภูมิ (K) ของการจำลอง (CFD) และการทดลองการเผาไหม้จริง (EXP) [29]

จากการศึกษาความเหมาะสมของการนำแบบจำลองของคุณนิวัฒน์มาใช้ พบว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ อีกทั้งยังเป็นชุดทดสอบเดียวกันกับวิทยานิพนธ์นี้ ดังนั้นการศึกษาในลำดับถัดไปจึงจะนำแบบจำลองดังกล่าวมาปรับเปลี่ยนเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ภายใต้อิทธิพลของค่าความร้อน อิทธิพลของค่าความชื้น และความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงตามสภาพที่ได้รับ

5.3.1 อิทธิพลของค่าความร้อน

การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้โดยการจำลองการเผาไหม้ในโปรแกรม Ansys Fluent ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอิทธิพลของค่าความร้อนโดยจะทำการจำลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด คือ ไม้ยางพารา และกะลาปาล์ม โดยกำหนดให้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าความชื้นเท่ากัน ในการจำลองนี้จะเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ความเร็วภายในห้องเผาไหม้ และสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้ดังตารางที่ 5.20 และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.20 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้

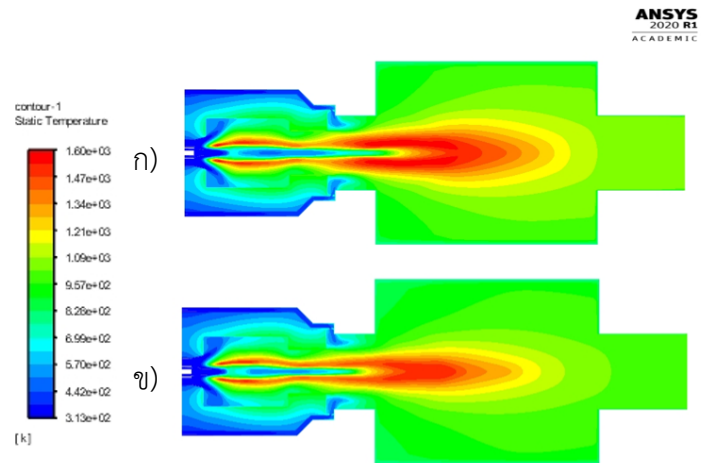
เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง	ไม้ยางพารา	กะลาปาล์ม
อัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ 300 kW (kg/s)	0.0186	0.0160
อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ (kg/s)	0.0126	0.0126
อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ (kg/s)	0.0817	0.0821
อัตราการไหลของอากาศตติยภูมิ (kg/s)	0.0314	0.0316
อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิ (K)	313	313
อุณหภูมิของอากาศทุติยภูมิ (K)	313	313
อุณหภูมิของอากาศตติยภูมิ (K)	313	313
ความดันทางออก (Pa)	-1500	-1500
การแจกแจงขนาดของเชื้อเพลิง (μm)		
500.0	2.6 %	
362.5	16.8 %	
240.0	25.5 %	
165.0	12.6 %	
112.5	18.1 %	
37.5	24.4 %	

ตารางที่ 5.21 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด ไม้ยางพารา และกะลาปาล์ม

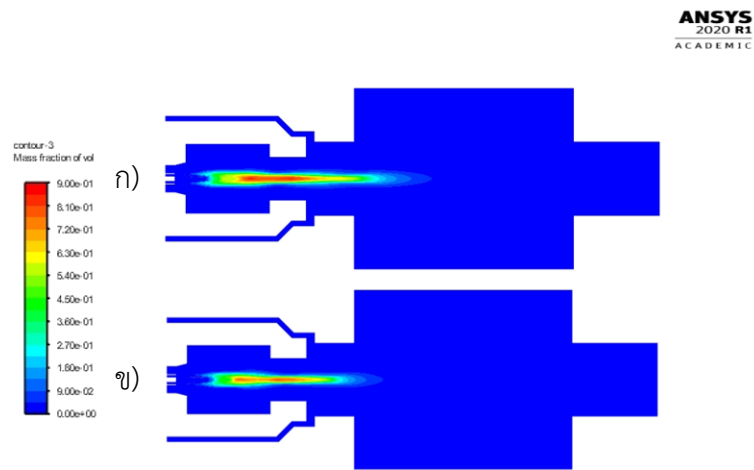
องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล		ไม้ยางพารา	กะลาปาล์ม
องค์ประกอบโดยละเอียด (Ultimate Analysis) (wt%, Dry-Ash-Free)	คาร์บอน	49.42	55.35
	ไฮโดรเจน	6.16	6.27
	ไนโตรเจน	0.49	0.28
	ออกซิเจน	43.93	38.10
	ซัลเฟอร์	0.00	0.00
องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis) (wt%, as received)	เถ้า	2.28	2.35
	สารระเหย	76.68	64.80
	ความชื้น	5.81	5.81
	ถ่านคงตัว	15.23	27.03
ค่าความร้อน (ฐานเปียก)	ค่าความร้อนสูง (HHV) (kJ/kg)	17,480.76	20,110.00
	ค่าความร้อนต่ำ (LHV) (kJ/kg)	16,142.52	18,710.00

จากการจำลองสมรรถนะการเผาไหม้ของไม้ยางพาราและกะลาปาล์ม พบว่ามีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.18 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด แต่กะลาปาล์มมีความสามารถในเผาไหม้ที่ดีกว่าไม้ยางพารา เนื่องจากกะลาปาล์มมีปริมาณสารระเหยน้อยกว่าและปริมาณคาร์บอนมากกว่าไม้ยางพาราเล็กน้อย จึงทำให้การเผาไหม้สารระเหยหมดและเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้สารประกอบคาร์บอนได้เร็วกว่า ดังที่แสดงในรูปที่ 5.19 และกะลาปาล์มมีค่าความร้อนมากกว่าไม้ยางพารา ดังนั้นที่อัตราการเผาไหม้เดียวกัน อัตราการไหลเชื้อเพลิงของไม้ยางพาราจึงมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 5.20 ขณะที่ความเร็วในห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด ดังรูปที่ 5.20 และสนามการไหลในรูปที่ 5.21 แสดงให้เห็นว่าในบริเวณของห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-Chamber) ยังคงเกิดการหมุนควงของอากาศซึ่งจะช่วยให้มีการคลุกเคล้ากันของอากาศและเชื้อเพลิงที่ดี

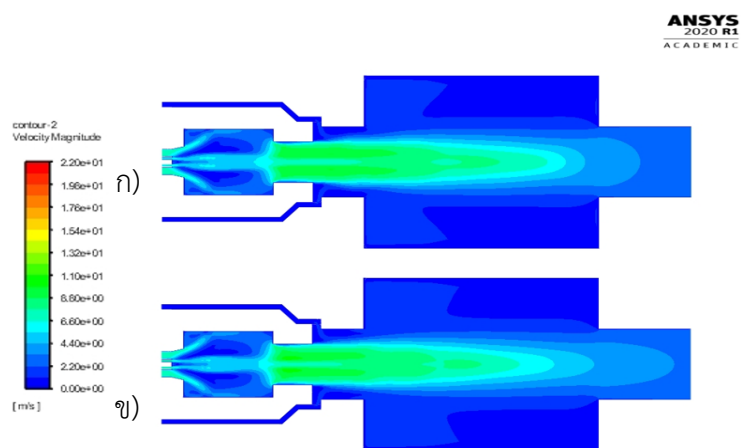
จากผลการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดที่มีความชื้นเท่ากัน กะลาปาล์มมีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ดีกว่าเล็กน้อย และใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าไม้ยางพาราอยู่ 16% เพื่อทำให้เกิดความร้อนที่ 300 KW เท่ากัน



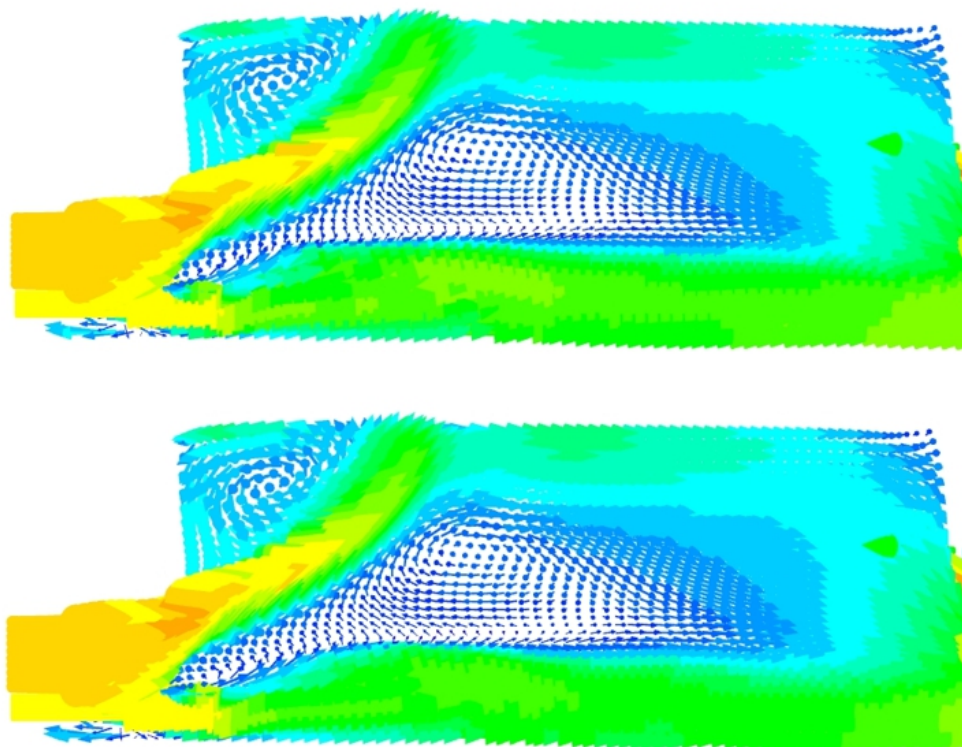
รูปที่ 5.18 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม



รูปที่ 5.19 แสดงสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม



รูปที่ 5.20 แสดงความเร็วภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม



รูปที่ 5.21 แสดงทิศทางการไหลภายในห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-Chamber)

5.3.2 อิทธิพลของความชื้น

การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้โดยการจำลองการเผาไหม้ในโปรแกรม Ansys Fluent ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอิทธิพลของความชื้นโดยจะทำการจำลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดเดียวกัน คือ กะลาปาล์ม โดยมีปริมาณความชื้นต่างกัน (5.81%, 30%, 58%) ในการจำลองนี้จะเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ความเร็วภายในห้องเผาไหม้ และสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ ของกะลาปาล์มที่มีค่าความชื้น 5.81% 30% และ 58% โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้ดังตารางที่ 5.22 และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.22 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้

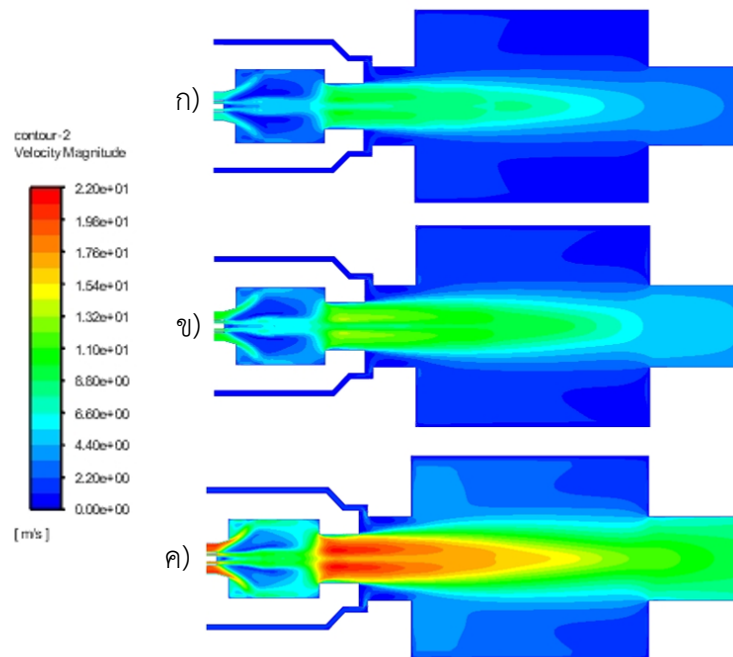
เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง	กะลาปาล์ม ความชื้น 5.81%	กะลาปาล์ม ความชื้น 30%	กะลาปาล์ม ความชื้น 58%
อัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ 300 kW (kg/s)	0.01603	0.02259	0.04292
อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ (kg/s)	0.01263	0.01779	0.03380
อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ (kg/s)	0.08208	0.11565	0.21971
อัตราการไหลของอากาศตติยภูมิ (kg/s)	0.03157	0.04448	0.08451
อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิ (K)	313	313	313
อุณหภูมิของอากาศทุติยภูมิ (K)	313	313	313
อุณหภูมิของอากาศตติยภูมิ (K)	313	313	313
ความดันทางออก (Pa)	-1500	-1500	-1500
การแจกแจงขนาดของเชื้อเพลิง (μm)			
500	2.6 %		
362.5	16.8 %		
240	25.5 %		
165	12.6 %		
112.5	18.1 %		
37.5	24.4 %		

ตารางที่ 5.23 แสดงคุณสมบัติของกะลาปาล์มที่ความชื้น 5.81%, 30% และ 58%

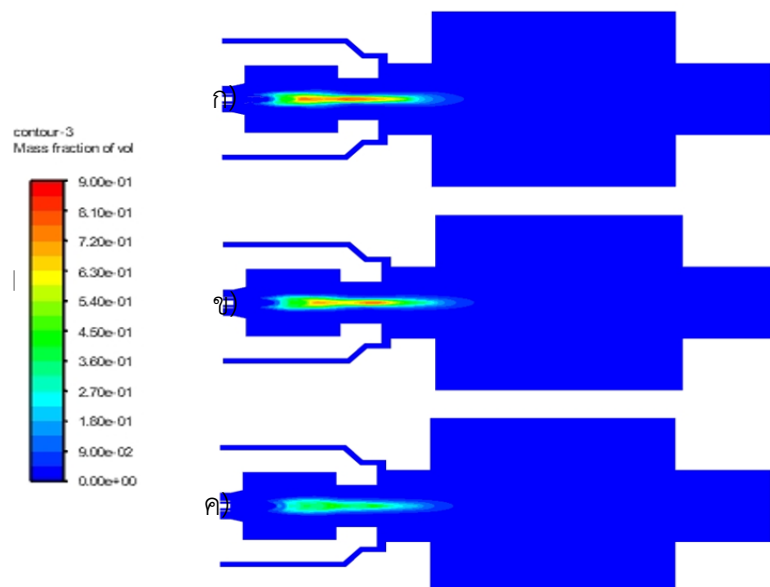
องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล		กะลาปาล์ม ความชื้น 5.81%	กะลาปาล์ม ความชื้น 30%	กะลาปาล์ม ความชื้น 58%
องค์ประกอบโดยละเอียด (Ultimate Analysis) (wt%, Dry-Ash-Free)	คาร์บอน	55.35		
	ไฮโดรเจน	6.27		
	ไนโตรเจน	0.37		
	ออกซิเจน	38.10		
	ซัลเฟอร์	0.00		
องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis) (wt%, as received)	เถ้า	2.35	1.75	1.05
	สารระเหย	64.80	48.16	28.90
	ความชื้น	5.81	30.00	58.00
	ถ่านคงตัว	27.03	20.09	12.05
ค่าความร้อน (ฐานเปียก)	ค่าความร้อนสูง (HHV) (kJ/kg)	20,110.00	14,950.00	8,970.00
	ค่าความร้อนต่ำ (LHV) (kJ/kg)	18,710.00	13,280.00	6,990.00

จากผลการจำลองการเผาไหม้พบว่าเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นมากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำลง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีความชื้นมากจะมีค่าความร้อนน้อยทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อให้ได้ปริมาณความร้อนที่เท่ากัน การใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นจะส่งผลทำให้ต้องใส่อากาศเพิ่มตามไปด้วยเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ปริมาณอากาศที่ใส่เข้าไปมากขึ้นดังนั้นจะส่งผลให้ความเร็วในห้องเผาไหม้มีค่าสูงขึ้น การผสมคลุกเคล้าไม่ดี ดังรูปที่ 5.22 การปลดปล่อยสารระเหยน้อยลง อุณหภูมิในห้องเผาไหม้จึงต่ำลง สังเกตได้รูปที่ 5.23 และ 5.24 ส่งผลให้การเผาไหม้ส่วนประกอบคาร์บอนเกิดขึ้นช้าตามไปด้วย

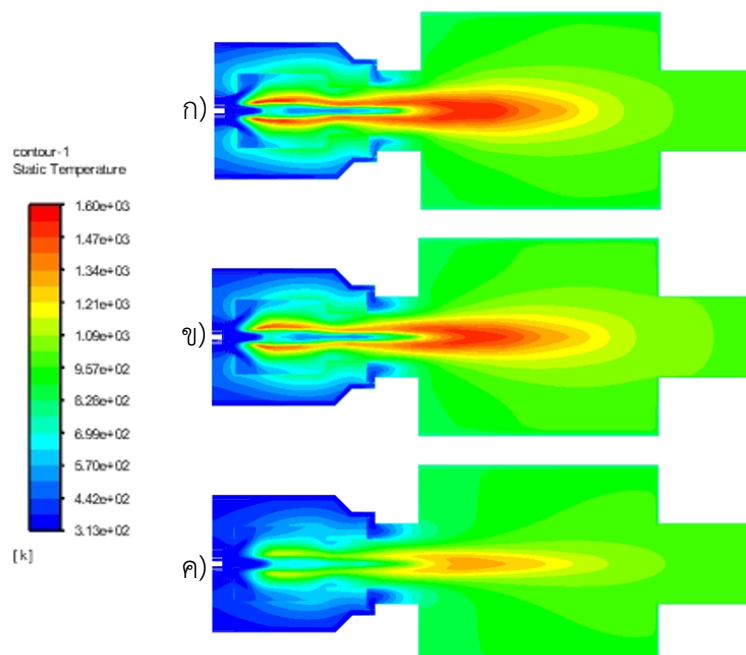
จากผลการทดลองการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันที่ค่าความชื้นต่างกัน เชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าจะมีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ดีกว่าและใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าเมื่อต้องการให้เกิดปริมาณความร้อนที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงการควบคุมค่าความชื้นของเชื้อเพลิงระหว่างเก็บรักษาเป็นมาตรการที่ต้องลงทุน ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงให้ความสำคัญน้อย



รูปที่ 5.22 แสดงความเร็วภายในห้องเผาไหม้ของกะลาปาล์มที่ความชื้นต่างกัน
ก) ความชื้น 5.81% ข) ความชื้น 30% ค) ความชื้น 58%



รูปที่ 5.23 แสดงสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ของกะลาปาล์มที่ความชื้นต่างกัน
ก) ความชื้น 5.81% ข) ความชื้น 30% ค) ความชื้น 58%



รูปที่ 5.24 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของกะลาปาล์มที่ความชื้นต่างกัน
ก) ความชื้น 5.81% ข) ความชื้น 30% ค) ความชื้น 58%

5.3.3 ความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงตามสภาพที่ได้รับ

การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้โดยการจำลองการเผาไหม้ในโปรแกรม Ansys Fluent ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกันในการจำลองการเผาไหม้ไม้ยางพารา และกะลาปาล์ม โดยใช้ปริมาณความชื้นที่วัดได้จากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยไม้ยางพาราอัดเม็ดมีปริมาณความชื้น 5.81% และกะลาปาล์มก่อนบดมีปริมาณความชื้น 58% ในการจำลองนี้จะเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ความเร็วภายในห้องเผาไหม้ สัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด และค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงในการทดลองการเผาไหม้ เพื่อจะหาว่าเชื้อเพลิงชนิดไหนมีความคุ้มค่าที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้ดังตารางที่ 5.24 และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดังตารางที่ 5.25



รูปที่ 5.25 แสดงค่าความชื้นของไม้ยางพาราอัดเม็ดที่วัดจากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 5.26 แสดงค่าความชื้นของกะลาปาล์มก่อนบดที่วัดได้จากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทำการทดลอง

ตารางที่ 5.24 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการเผาไหม้

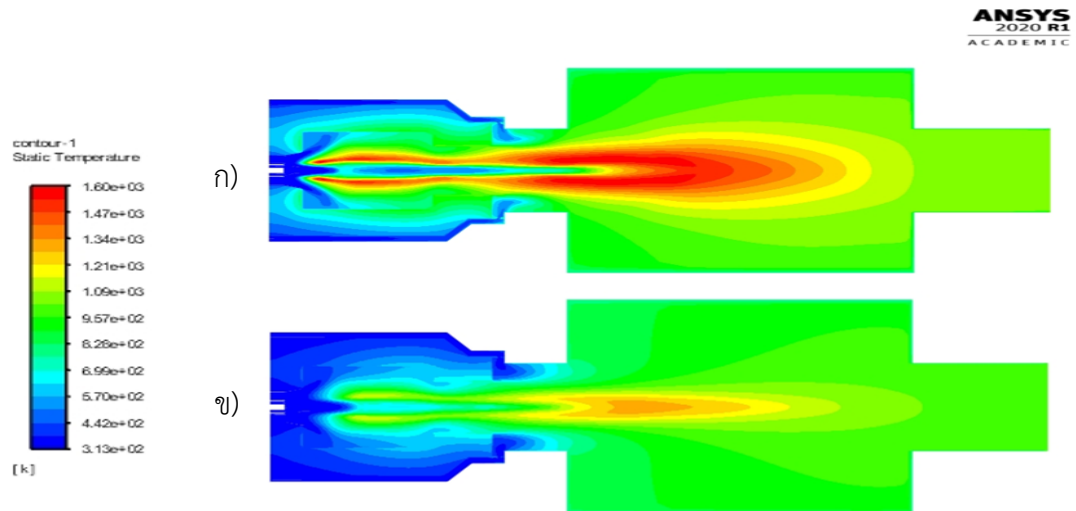
เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง	ไม้ยางพารา	กะลาปาล์ม
อัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ 300 kW (kg/s)	0.01858	0.04292
อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ (kg/s)	0.01257	0.03380
อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ (kg/s)	0.08173	0.21971
อัตราการไหลของอากาศตติยภูมิ (kg/s)	0.03143	0.08451
อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิ (K)	313	313
อุณหภูมิของอากาศทุติยภูมิ (K)	313	313
อุณหภูมิของอากาศตติยภูมิ (K)	313	313
ความดันทางออก (Pa)	-1500	-1500
ราคา (Baht/Ton)	4200	3200
การแจกแจงขนาดของเชื้อเพลิง (μm)		
500		2.6 %
362.5		16.8 %
240		25.5 %
165		12.6 %
112.5		18.1 %
37.5		24.4 %

ตารางที่ 5.25 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด ไม้ยางพารา และกะลาปาล์ม

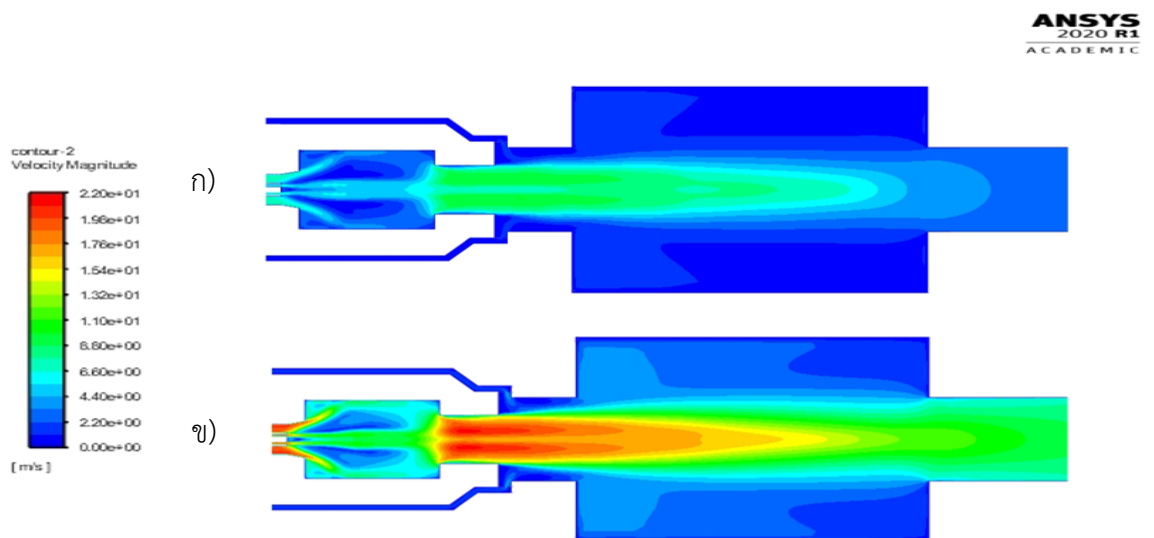
องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล		ไม้ยางพารา	กะลาปาล์ม
องค์ประกอบโดยละเอียด (Ultimate Analysis) (wt%, Dry-Ash-Free)	คาร์บอน	49.42	55.35
	ไฮโดรเจน	6.16	6.27
	ไนโตรเจน	0.49	0.37
	ออกซิเจน	43.93	38.10
	ซัลเฟอร์	0.00	0.00
องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis) (wt%, as received)	เถ้า	2.28	1.05
	สารระเหย	76.68	28.90
	ความชื้น	5.81	58.00
	ถ่านคงตัว	15.23	12.05
ค่าความร้อน (ฐานเปียก)	ค่าความร้อนสูง (HHV) (kJ/kg)	17,480.76	8,970.00
	ค่าความร้อนต่ำ (LHV) (kJ/kg)	16,142.52	6,990.00

จากการจำลองการเผาไหม้ของไม้ยางพาราที่ความชื้น 5.81% และกะลาปาล์มที่ความชื้น 58% พบว่าอุณหภูมิของไม้ยางพารามีค่าสูงกว่ากะลาปาล์ม ดังรูปที่ 5.27 เนื่องจากไม้ยางพารามีความชื้นน้อยกว่า และมีค่าความร้อนที่มากกว่าส่งผลให้ใช้เชื้อเพลิงและอากาศในปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อต้องการปริมาณความร้อนที่เท่ากัน เมื่อใช้อากาศในปริมาณที่น้อยกว่า ความเร็วในห้องเผาไหม้ก็จะมีค่าต่ำตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 5.28 และจุดเริ่มต้นของการเผาไหม้สารระเหยก็เกิดขึ้นเร็วกว่ากะลาปาล์ม เพราะไม้ยางพารามีปริมาณสารระเหยมากกว่าและปริมาณสารระเหยที่มากกว่าส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการเผาไหม้สารระเหยนานกว่ากะลาปาล์ม ดังรูปที่ 5.29 เป็นผลให้เกิดการเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้สารประกอบคาร์บอนช้ากว่ากะลาปาล์มและจุดสุดท้ายของการเผาไหม้ไม้ยางพาราอยู่ในตำแหน่งที่ไกลกว่ากะลาปาล์มและไม้ยางพารายังมีราคาแพงกว่ากะลาปาล์มอยู่ต้นละ 1000 บาท

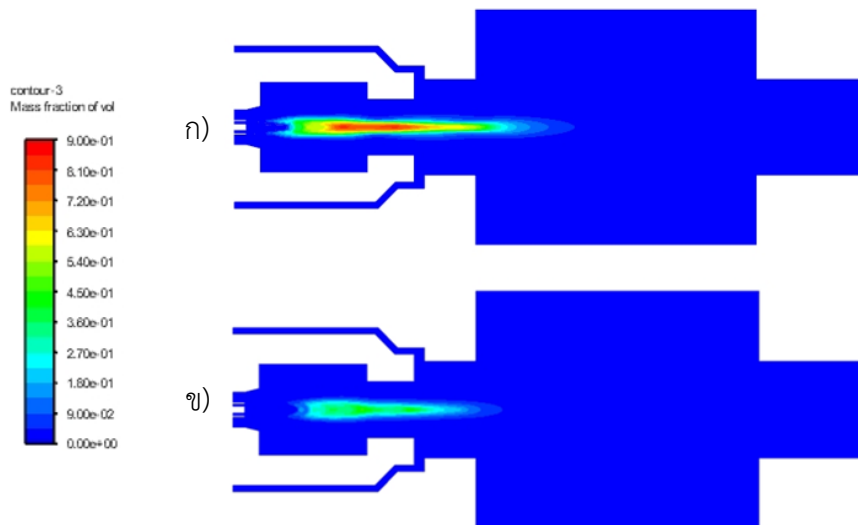
จากผลการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราและกะลาปาล์มที่ค่าความชื้นที่วัดได้จริง เชื้อเพลิงไม้ยางพารามีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สูงกว่าและประหยัดค่าเชื้อเพลิงมากกว่ากะลาปาล์ม 43.18% แต่ต้องใช้เวลาในการเผาไหม้มากกว่ากะลาปาล์ม



รูปที่ 5.27 แสดงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม



รูปที่ 5.28 แสดงความเร็วภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม



รูปที่ 5.29 แสดงสัดส่วนโดยมวลของสารระเหยภายในห้องเผาไหม้ ก) ไม้ยางพารา ข) กะลาปาล์ม

สมมติสถานการณ์จำลอง โรงงานอุตสาหกรรมมีอัตราการผลิตไอน้ำ 1 ตันต่อชั่วโมง กำหนดให้การผลิตไอน้ำ 1 ตันใช้ความร้อน 1 เมกะวัตต์ และใน 1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง ใน 1 ปี ทำงาน 300 วัน ตารางที่ 5.26 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราที่ความชื้น 5.81% กะลาปาล์มที่ความชื้น 30% และ 58% ภายในเวลา 1 ปี พบว่ากะลาปาล์มที่ความชื้น 30% มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคือ 2,079,129.6 บาทต่อปี

ตารางที่ 5.26 แสดงค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดภายใน 1 ปี

	ไม้ยางพารา ความชื้น 5.81%	กะลาปาล์ม ความชื้น 30%	กะลาปาล์ม ความชื้น 58%
ราคา (Baht/Ton)	4200	3200	3200
อัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ 1 MW (kg/s)	0.0619	0.0752	0.1430
เวลาที่เครื่องทำงาน (ชั่วโมง/ปี)	2400		
ต้นทุน (บาท/ปี)	2,246,227.2	2,079,129.6	3,953,664.0

ตัวอย่างการคำนวณ

ต้นทุนการผลิตความร้อน 1 MW ต่อ 1 ปี

$$4200 \times \frac{0.0619 \times 3600}{1000} \times 2400 = 2,246,227.2 \text{ บาท}$$

5.2 ผลการศึกษาการสะสมตัวของซี้เถ้าลอยและซี้เถ้าหลอม

การเก็บผลการสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอย จะเก็บผลหลังจากทำการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้โดยจะเก็บซี้เถ้าที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อนำปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมในแต่ละเชื้อเพลิงมาเปรียบเทียบกัน แต่เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดสอบได้ จึงสรุปผลจากองค์ประกอบซี้เถ้าของเชื้อเพลิงแทน

จากการศึกษาการเกิดของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยจากการเผาไหม้ พบว่าซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยเกิดจากธาตุโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) โดยสาเหตุหลักๆมาจากธาตุโพแทสเซียม (K) และเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีโพแทสเซียมมากกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้งจะมีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะเกิดการสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอย จากตารางที่ 5.8 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นกะลาปาล์มมีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม 0.26% โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้ง และไม้ยางพารามีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม 1.815% โดยน้ำหนักจากเชื้อเพลิงแห้ง

จากองค์ประกอบเถ้าของเชื้อเพลิงไม้ยางพารามีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมมากกว่ากะลาปาล์มอยู่ 5.98% และไม้ยางพารามีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม 1.82% โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งใกล้เคียง 2% ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดการสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยมาก

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาความเหมาะสมของประเภทเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น เป็นการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมกับหัวเผา ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ และปัจจัยทางด้านเทคนิค โดยปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์จะเป็นการคัดเลือกเชื้อเพลิงผ่านข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ คือ ราคา ความสามารถในการจัดหาได้ต่อปี ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น และการสะสมตัวของซีเถ้าหลอมและซีเถ้าลอย ในปัจจัยทางด้านเทคนิคจะเป็นการทดสอบสมรรถนะการบดของเชื้อเพลิงชีวมวล การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ โดยการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้นี้ไม่สามารถดำเนินการทดสอบได้ เนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถเข้าไปทำการทดลองในห้องทดลองได้ จึงได้ทำการจำลองการเผาไหม้ผ่านโปรแกรม Ansys Fluent และการสะสมตัวของซีเถ้าหลอมและซีเถ้าลอยได้ทำการศึกษาผ่านองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล

6.1 สรุปผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์

โดยการคัดเลือกเชื้อเพลิงผ่านปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์จะคัดเลือกเชื้อเพลิงเหลือเพียง 3 ชนิด เพื่อที่จะนำไปคัดเลือกผ่านปัจจัยทางเทคนิคต่อไป จนได้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น จากหัวข้อ 5.1 ผลการทดลองของการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยมีปัจจัยทางด้านราคา ความสามารถในการจัดหาได้ต่อปี ค่าความร้อนสุทธิหลังหักค่าความชื้น การสะสมตัวของซีเถ้าหลอมและซีเถ้าลอย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.11 โดยเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิดที่ผ่านการคัดเลือก คือ เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม

6.2 สรุปผลการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านปัจจัยทางเทคนิค

ปัจจัยทางเทคนิคประกอบไปด้วย การทดสอบสมรรถนะการบด การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ การสะสมตัวของซีเถ้าหลอมและซีเถ้าลอย

6.2.1 การทดสอบสมรรถนะการบด

การทดสอบสมรรถนะการบด ประกอบด้วยการทดลองย่อย 2 การทดลอง คือ การสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบด และการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิง

- การสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบด

การสอบเทียบสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องบด เป็นการทดลองหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เท่ากันของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด โดยจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (Hz) กับ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง(kg/s) ดังนี้ ของไม้ยางพารา คือ $Y_{\text{(อัตราการไหลเชิงมวล)}} = 0.0378X_{\text{(ความถี่)}} - 0.0133$ และของกะลาปาล์มคือ $Y_{\text{(อัตราการไหลเชิงมวล)}} = 0.0325X_{\text{(ความถี่)}} - 0.0125$ จากการทดลองพบว่าเส้นใยปาล์มและทะลายปาล์มไม่สามารถขนส่งผ่านสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงสู่เครื่องบดได้ เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใยและน้ำหนักเบา ดังนั้นที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.03 kg/s ไม้ยางพาราจะใช้ความถี่เท่ากับ 1.1 Hz และกะลาปาล์มจะใช้ความถี่เท่ากับ 1.3 Hz

- การทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิง

ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดของไม้ยางพาราที่ความถี่ 0.6 Hz มีค่าเท่ากับ 30.3424 kJ/kg และที่ความถี่ 0.9 Hz มีค่าเท่ากับ 16.3948 kJ/kg ดังนั้นการบดที่ความถี่ 0.9 Hz ได้เชื้อเพลิงปริมาณมากกว่า และใช้พลังงานจำเพาะในการบดน้อยกว่า จึงมีความเหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตามการทดลองหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการบดเชื้อเพลิงของกะลาปาล์ม เส้นใยปาล์ม และทะลายปาล์มไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาด COVID-19 จึงยังสรุปผลการทดลองในส่วนนี้ไม่ได้

6.2.2 การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้

การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ไม่สามารถดำเนินการทดสอบได้ จึงทำการจำลองการเผาไหม้ผ่านโปรแกรม Ansys Fluent โดยการจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้อ้างอิงแบบจำลองมาจากบทความทางวิชาการของคุณนิวัฒน์ โดยใช้จำนวนกริด 11568 เซลล์สมการที่ใช้ในการจำลอง มีดังนี้ แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable K-epsilon แบบจำลองการเผาไหม้ Eddy Dissipation และแบบจำลองการแผ่รังสี Discrete Ordinates มีอัตราการเผาไหม้ที่ 300 kW อากาศส่วนเกิน 15% โดยการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้แบ่งออกเป็น อิทธิพลของค่าความร้อน อิทธิพลของความชื้น ความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงตามสภาพที่ได้รับ

- อิทธิพลของค่าความร้อน

จากผลการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดที่มีความชื้นเท่ากัน กะลาปาล์มมีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ดีกว่าเล็กน้อย และใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าไม้ยางพาราอยู่ 16% เพื่อทำให้เกิดความร้อนที่ 300 KW เท่ากัน

- อิทธิพลของความชื้น

จากผลการทดลองการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันที่ค่าความชื้นต่างกัน (5.81%, 30% และ 58%) เชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าจะมีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ดีกว่าและใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าเมื่อต้องการให้เกิดปริมาณความร้อนที่เท่ากัน

- ความเหมาะสมของการเลือกใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงตามสภาพที่ได้รับ

จากผลการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราและกะลาปาล์มที่ค่าความชื้นที่วัดได้จริง เชื้อเพลิงไม้ยางพารามีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สูงกว่าและประหยัดค่าเชื้อเพลิงมากกว่ากะลาปาล์ม 43.18% แต่ต้องใช้เวลาในการเผาไหม้มากกว่ากะลาปาล์ม

6.2.3 การสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอย

จากองค์ประกอบเถ้าของเชื้อเพลิงไม้ยางพารามีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมมากกว่ากะลาปาล์มอยู่ 5.98% และไม้ยางพารามีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม 1.82% โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งใกล้เคียง 2% ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดการสะสมตัวของซี้เถ้าหลอมและซี้เถ้าลอยมาก

จากการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า กะลาปาล์ม ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาชีวมวลแบบฝุ่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cai Yongtie et al. “Modeling of ash formation and deposition processes in coal and biomass fired boilers: A comprehensive review.” **Applied Energy**, Vol. 230, 2018, pp.1447-1544.
- [2] Lei Guo et al. “Influence of moisture content and hammer mill screen size on the physical quality of barley, oat, canola and wheat straw briquettes.” **Biomass and Bioenergy**, Vol. 94, 2016, pp. 201-208.
- [3] ฐานิตย์ เมธิยานนท์ 2016 “**ทฤษฎีและเทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งและชีวมวล**” มีนเซอรัวีสซัพพลาย.
- [4] องค์ความรู้ เรื่องข้าว, กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (2016), แหล่งที่มา <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=14-1.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/08/2019.
- [5] ฟางข้าว(Rice straw) และประโยชน์จากฟางข้าว, เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย (2015), แหล่งที่มา <https://puechkaset.com/ฟางข้าว/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/08/2019.
- [6] ฟางข้าว, MGR ONLINE (2009), แหล่งที่มา <https://mgronline.com/science/detail/9520000149589>, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/08/2019.
- [7] มันสำปะหลัง, ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2019), แหล่งที่มา http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/50/animal/11_4_animal/11_4animal.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/08/2019.
- [8] พลังงานชีวมวล, บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ วิชั่น จำกัด (2019), แหล่งที่มา <http://www.energy.vision.co.th/14424507/พลังงานชีวมวล>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/08/2019.
- [9] เม็ดเชื้อเพลิงจากเศษยอดและใบอ้อย, ประชาคมวิจัย (2005), แหล่งที่มา http://rescom.trf.or.th/display/keydefault.aspx?id_colum=3483, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/08/2019.
- [10] ชังข้าวโพด : เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเพื่อสิ่งแวดล้อม, สำนักงานวิชาการ (2016), แหล่งที่มา https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2559/may2559-5.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/08/2019.
- [11] ชังข้าวโพด, สำนักข่าวเดลินิวส์ (2018), แหล่งที่มา <https://www.dailynews.co.th/agriculture/620131>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/08/2019.
- [12] กะลาปาล์ม, บริษัท เอเชีย ไบโอบีโอส จำกัด (มหาชน) (2018), แหล่งที่มา https://www.asiabiomass.com/products/palm_shall_new/, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/08/2019.

- [13] ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน : กรณีศึกษาทะลายเปล่า (Empty Fruit Bunch), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2019), แหล่งที่มา <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2529>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/08/2019.
- [14] ทะลายปาล์ม, สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพีชน้ำมัน (2006), แหล่งที่มา http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Agricultural_Biotechnology/2550/Bs/WanpenSu/chapter2.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/08/2019.
- [15] Haipeng Jiang et al. "Combustion behaviors and temperature characteristics in pulverized biomass dust explosions." **Renewable Energy**, Vol. 122, 2018, pp. 45-54.
- [16] Wubin Weng et al. "Single particle ignition and combustion of pulverized pine wood, wheat straw, rice husk and grape pomace." **Proceedings of the Combustion Institute**, Vol. 37, 2019, pp. 2663-2671.
- [17] MITSUBISHI ปั้มน้ำอัตโนมัติ รุ่น WP205R, บริษัท ดูโฮม จำกัด (มหาชน) (2018), แหล่งที่มา <https://www.dohome.co.th/mitsubishi-automatic-water-pump-wp205r-10290260.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2020.
- [18] ELECTRA ปั้มน้ำหอยโข่ง 5.5 HP รุ่น HHF7 AR, บริษัท ดูโฮม จำกัด (มหาชน) (2018), แหล่งที่มา <https://www.dohome.co.th/garden-argiculture-and-water-pump/water-pumps-and-equipments/electra-centrifugal-pumps-5-5-hp-hhf7-ar-10230196.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2020.
- [19] โรตารีเตอร์, บริษัท นิวัตรทรัพย์ กรุ๊ป จำกัด (2020), แหล่งที่มา <https://www.hydroproperty.com/index.php?tpid=0087>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2020.
- [20] การแบ่งประเภท และการเลือกใช้ Thermocouple, บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด (2016), แหล่งที่มา <https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-thermocouple/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2020.
- [21] Thermocouple Type-K - Stainless Steel, บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด (2015), แหล่งที่มา <https://www.thaieasyelec.com/thermocouple-type-k-stainless-steel.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2020.
- [22] การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส, Thailandindustry.com (2009), แหล่งที่มา http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19114, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/04/2020.
- [23] Cooling Tower, หน่วยศึกษานิเทศก์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (2018), แหล่งที่มา, <https://sites.google.com/site/unitsoperation2560/cooling-tower-khux-xari>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/04/2020.

- [24] Cooling Tower ชนิด Cross Flow, PIGER TECH TRADING AND CONTRUCTION.,LTD. (2018), แหล่งที่มา <https://www.piger-tech.com/cooling-tower/cross-flow/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/04/2020.
- [25] จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำในประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2018), แหล่งที่มา http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/09/2019.
- [26] ปัจจัยทางด้านราคา, สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2019), แหล่งที่มา <http://www.oae.go.th/view/1/สถานการณ์ราคา/TH-TH>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2019.
- [27] ราคาชีวมวล และปฏิทินชีวมวล, มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2018), แหล่งที่มา <http://www.effe.or.th/effe-book.php?task=26>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2019.
- [28] องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล, TNO innovation for life (2019), แหล่งที่มา <https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis#biomass>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2019.
- [29] Niwat Suksam, Chinnapat Turakarn, and Jarruwat Charoensuk. 2016. Numerical Simulation on Combustion Characteristics of a Pulverized Biomass Swirl Burner, Master's Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [30] เกษมศิลป์ อ่อนทอง. 2562. “การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของเตาผลิตก๊าซสังเคราะห์แบบไหลขึ้น” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [31] ฉัตรเฉลิม แก้วชมพู. 2563. “อิทธิพลของอุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงแบบครึ่งนำร่องและวัตถุขวางการไหลต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลผงที่ 300 kW” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [32] Kanlaya Pornsuksomboon, Sirinya Chantarak and Kaewta Kaewtatip. 2015. Effect of Rubber Wood Ash on the Properties of Starch-Based Foams, Thaksin.J., Vol.18 (3), 2015, p.61.

ภาคผนวก ก

การตั้งค่าโปรแกรม ANSYS FLUENT

ภาคผนวก ก

จากการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ ได้ทำการจำลองการเผาไหม้ผ่านโปรแกรม Ansys Fluent และใช้อัตราการเผาไหม้ 300 กิโลวัตต์ อากาศส่วนเกิน 15 % โดยสมการที่ใช้ในการจำลอง ดังนี้ แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable K-epsilon แบบจำลองการเผาไหม้ Eddy Dissipation และแบบจำลองการแผ่รังสี Discrete Ordinates ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตั้งค่าในโปรแกรมดังกล่าว

Species Model

Model

- Off
- Species Transport
- Non-Premixed Combustion
- Premixed Combustion
- Partially Premixed Combustion
- Composition PDF Transport

Reactions

- Volumetric
- Wall Surface
- Particle Surface
- Electrochemical

Chemistry Solver

None - Explicit Source

Options

- Inlet Diffusion
- Diffusion Energy Source
- Full Multicomponent Diffusion
- Thermal Diffusion

Mixture Properties

Mixture Material: coal-volatiles-air Edit...

Import CHEMKIN Mechanism...

Number of Volumetric Species: 6

Turbulence-Chemistry Interaction

- Finite-Rate/No TCI
- Finite-Rate/Eddy-Dissipation
- Eddy-Dissipation
- Eddy-Dissipation Concept

Coal Calculator...

Select Boundary Species

Select Reported Residuals

OK Apply Cancel Help

รูปที่ ก 1 แสดงการตั้งค่า Species Model ในโปรแกรม Ansys Fluent

F Coal Calculator ×

Coal Streams

Number of Coal Streams

Coal Stream ID

Coal Properties

Proximate Analysis		Ultimate Analysis (DAF)	
Volatile	<input type="text" value="0.4816"/>	C	<input type="text" value="0.5535"/>
Fixed Carbon	<input type="text" value="0.2009"/>	H	<input type="text" value="0.0627"/>
Ash	<input type="text" value="0.0175"/>	O	<input type="text" value="0.381"/>
Moisture	<input type="text" value="0.3"/>	N	<input type="text" value="0.0028"/>

Mechanism

One-step Reaction
 Two-Step Reaction
 Include SO₂

Options

Wet Combustion

Settings

Coal Particle Material Name

Coal As-Received HCV (j/kg)

Volatile Molecular Weight (kg/kmol)

CO/CO₂ Split in Reaction 1 Products

High Temperature Volatile Yield

Fraction of N in Char (DAF)

Coal Dry Density (kg/m³)

Gas Phase Reaction

$$C0.91 H2.64 O1.01 N0.0084 + 0.61 O2 \Rightarrow$$

$$0.91 CO + 1.32 H2O + 0.0042 N2$$

$$CO + 0.5 O2 \Rightarrow CO2$$

รูปที่ ก 2 แสดงการตั้งค่า Coal Calculator ในโปรแกรม Ansys Fluent

Set Injection Properties

Injection Name: injection-0 Injection Type: surface

Release From Surfaces: [Icons]

- c_vertical_wall
- centerline
- connector_wall
- default-interior
- default-interior:001
- exhaust_wall
- furnace_hori_wall
- outlet
- primary_inlet

Particle Type

Massless Inert Droplet Combusting Multicomponent Custom

Laws

Material: coal-particle Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species: o2 Discrete Phase Domain: none

Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: vol Product Species: co2

Point Properties Physical Models Turbulent Dispersion Parcel Wet Combustion Components UDF Multiple Reactions

Variable	Value
Diameter (m)	0.00050000002
Temperature (k)	313
Velocity Magnitude (m/s)	6.5999999
Total Flow Rate (kg/s)	0.000587349

Stagger Options

Stagger Positions
Stagger Radius (m): 0

Scale Flow Rate by Face Area
 Inject Using Face Normal Direction

[OK] [File...] [Cancel] [Help]

รูปที่ ก 3 แสดงการตั้งค่า Injection Properties : Injection-0 ในโปรแกรม Ansys Fluent

Set Injection Properties

Injection Name: injection-1 Injection Type: surface

Release From Surfaces: [Icons]

- c_vertical_wall
- centerline
- connector_wall
- default-interior
- default-interior:001
- exhaust_wall
- furnace_hori_wall
- outlet
- primary_inlet

Particle Type

Massless Inert Droplet Combusting Multicomponent Custom

Laws

Material: coal-particle Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species: o2 Discrete Phase Domain: none

Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: vol Product Species: co2

Point Properties Physical Models Turbulent Dispersion Parcel Wet Combustion Components UDF Multiple Reactions

Variable	Value
Diameter (m)	0.0003625
Temperature (k)	313
Velocity Magnitude (m/s)	6.5999999
Total Flow Rate (kg/s)	0.00379518

Stagger Options

Stagger Positions
Stagger Radius (m): 0

Scale Flow Rate by Face Area
 Inject Using Face Normal Direction

[OK] [File...] [Cancel] [Help]

รูปที่ ก 4 แสดงการตั้งค่า Injection Properties : Injection-1 ในโปรแกรม Ansys Fluent

Set Injection Properties

Injection Name: injection-2 Injection Type: surface

Release From Surfaces: Filter Text

- c_vertical_wall
- centerline
- connector_wall
- default-interior
- default-interior:001
- exhaust_wall
- furnace_hori_wall
- outlet
- primary_inlet

Particle Type **Laws**

Massless
 Inert
 Droplet
 Combusting
 Multicomponent
 Custom

Material: coal-particle Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species: o2 Discrete Phase Domain: none
Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: vol Product Species: co2

Scale Flow Rate by Face Area
 Inject Using Face Normal Direction

OK File... Cancel Help

รูปที่ ก 5 แสดงการตั้งค่า Injection Properties : Injection-2 ในโปรแกรม Ansys Fluent

Set Injection Properties

Injection Name: injection-3 Injection Type: surface

Release From Surfaces: Filter Text

- c_vertical_wall
- centerline
- connector_wall
- default-interior
- default-interior:001
- exhaust_wall
- furnace_hori_wall
- outlet
- primary_inlet

Particle Type **Laws**

Massless
 Inert
 Droplet
 Combusting
 Multicomponent
 Custom

Material: coal-particle Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species: o2 Discrete Phase Domain: none
Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: vol Product Species: co2

Scale Flow Rate by Face Area
 Inject Using Face Normal Direction

OK File... Cancel Help

รูปที่ ก 6 แสดงการตั้งค่า Injection Properties : Injection-3 ในโปรแกรม Ansys Fluent

Set Injection Properties

Injection Name: injection-4 Injection Type: surface

Release From Surfaces: Filter Text

- c_vertical_wall
- centerline
- connector_wall
- default-interior
- default-interior:001
- exhaust_wall
- furnace_hori_wall
- outlet
- primary_inlet

Particle Type

Massless Inert Droplet Combusting Multicomponent Custom

Laws

Material: coal-particle Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species: o2 Discrete Phase Domain: none

Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: vol Product Species: co2

Point Properties Physical Models Turbulent Dispersion Parcel Wet Combustion Components UDF Multiple Reactions

Variable	Value
Diameter (m)	0.0001125
Temperature (k)	313
Velocity Magnitude (m/s)	6.5999999
Total Flow Rate (kg/s)	0.0040888549

Stagger Options

Stagger Positions

Stagger Radius (m): 0

Scale Flow Rate by Face Area

Inject Using Face Normal Direction

OK File... Cancel Help

รูปที่ ก 7 แสดงการตั้งค่า Injection Properties : Injection-4 ในโปรแกรม Ansys Fluent

Set Injection Properties

Injection Name: injection-5 Injection Type: surface

Release From Surfaces: Filter Text

- c_vertical_wall
- centerline
- connector_wall
- default-interior
- default-interior:001
- exhaust_wall
- furnace_hori_wall
- outlet
- primary_inlet

Particle Type

Massless Inert Droplet Combusting Multicomponent Custom

Laws

Material: coal-particle Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species: o2 Discrete Phase Domain: none

Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: vol Product Species: co2

Point Properties Physical Models Turbulent Dispersion Parcel Wet Combustion Components UDF Multiple Reactions

Variable	Value
Diameter (m)	3.7500002e-5
Temperature (k)	313
Velocity Magnitude (m/s)	6.5999999
Total Flow Rate (kg/s)	0.0055120471

Stagger Options

Stagger Positions

Stagger Radius (m): 0

Scale Flow Rate by Face Area

Inject Using Face Normal Direction

OK File... Cancel Help

รูปที่ ก 8 แสดงการตั้งค่า Injection Properties : Injection-5 ในโปรแกรม Ansys Fluent

F Mass-Flow Inlet ×

Zone Name
primary_inlet

Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
----------	---------	-----------	---------	-----	------------	-----------	-----

Reference Frame Absolute

Mass Flow Specification Method Mass Flow Rate

Mass Flow Rate (kg/s) 0.017791919

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) 0

Direction Specification Method Normal to Boundary

Turbulence

Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter

Turbulent Intensity (%) 9.9999994

Hydraulic Diameter (m) 0.0145

รูปที่ 9 แสดงการตั้งค่า Primary inlet : Momentum ในโปรแกรม Ansys Fluent

F Mass-Flow Inlet ×

Zone Name
primary_inlet

Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
----------	---------	-----------	---------	-----	------------	-----------	-----

Total Temperature (k) 313

รูปที่ 10 แสดงการตั้งค่า Primary inlet : Thermal ในโปรแกรม Ansys Fluent

F Mass-Flow Inlet ×

Zone Name
second_inlet

Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
Reference Frame <input type="text" value="Absolute"/>							
Mass Flow Specification Method <input type="text" value="Mass Flow Rate"/>							
Mass Flow Rate (kg/s) <input type="text" value="0.11564748"/>							
Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) <input type="text" value="0"/>							
Direction Specification Method <input type="text" value="Direction Vector"/>							
Axial-Component of Flow Direction <input type="text" value="0.66750002"/>							
Radial-Component of Flow Direction <input type="text" value="0"/>							
Tangential-Component of Flow Direction <input type="text" value="0.74470001"/>							
Turbulence							
Specification Method <input type="text" value="Intensity and Hydraulic Diameter"/>							
Turbulent Intensity (%) <input type="text" value="9.9999994"/>							
Hydraulic Diameter (m) <input type="text" value="0.089500003"/>							

รูปที่ ก 11 แสดงการตั้งค่า Secondary inlet : Momentum ในโปรแกรม Ansys Fluent

F Mass-Flow Inlet ×

Zone Name
second_inlet

Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
Total Temperature (k) <input type="text" value="313"/>							

รูปที่ ก 12 แสดงการตั้งค่า Secondary inlet : Thermal ในโปรแกรม Ansys Fluent

F Mass-Flow Inlet ✕

Zone Name
tertiary_inlet

Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
----------	---------	-----------	---------	-----	------------	-----------	-----

Reference Frame

Mass Flow Specification Method

Mass Flow Rate (kg/s)

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)

Direction Specification Method

Turbulence

Specification Method

Turbulent Intensity (%)

Hydraulic Diameter (m)

รูปที่ ก 13 แสดงการตั้งค่า Tertiary inlet : Momentum ในโปรแกรม Ansys Fluent

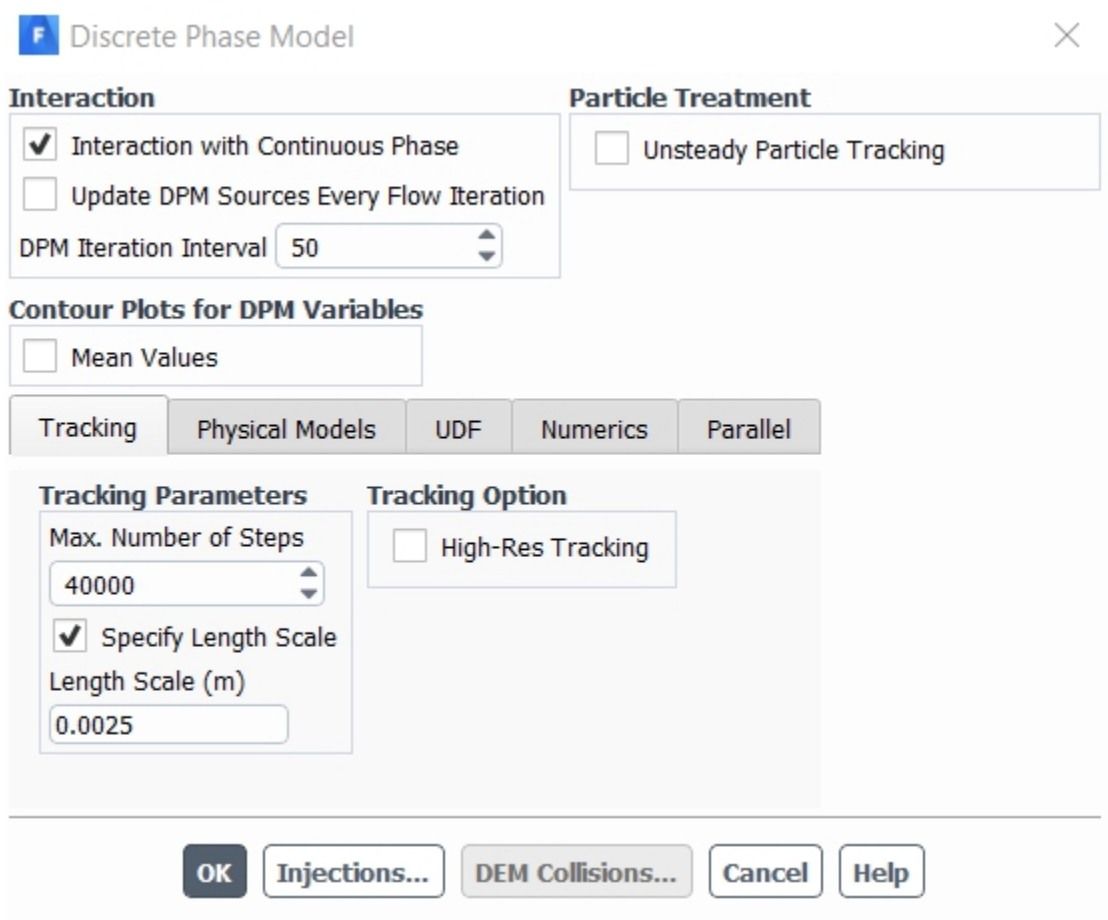
F Mass-Flow Inlet ✕

Zone Name
tertiary_inlet

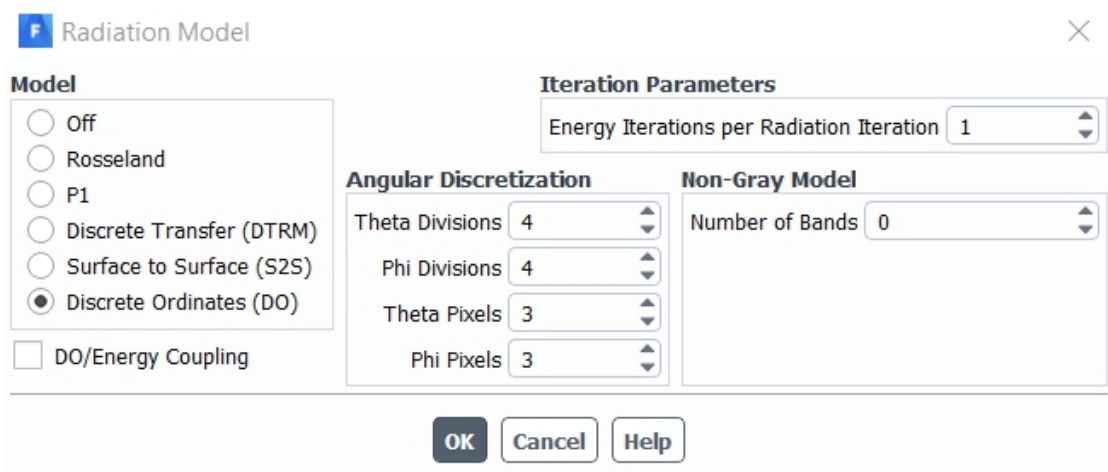
Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
----------	---------	-----------	---------	-----	------------	-----------	-----

Total Temperature (k)

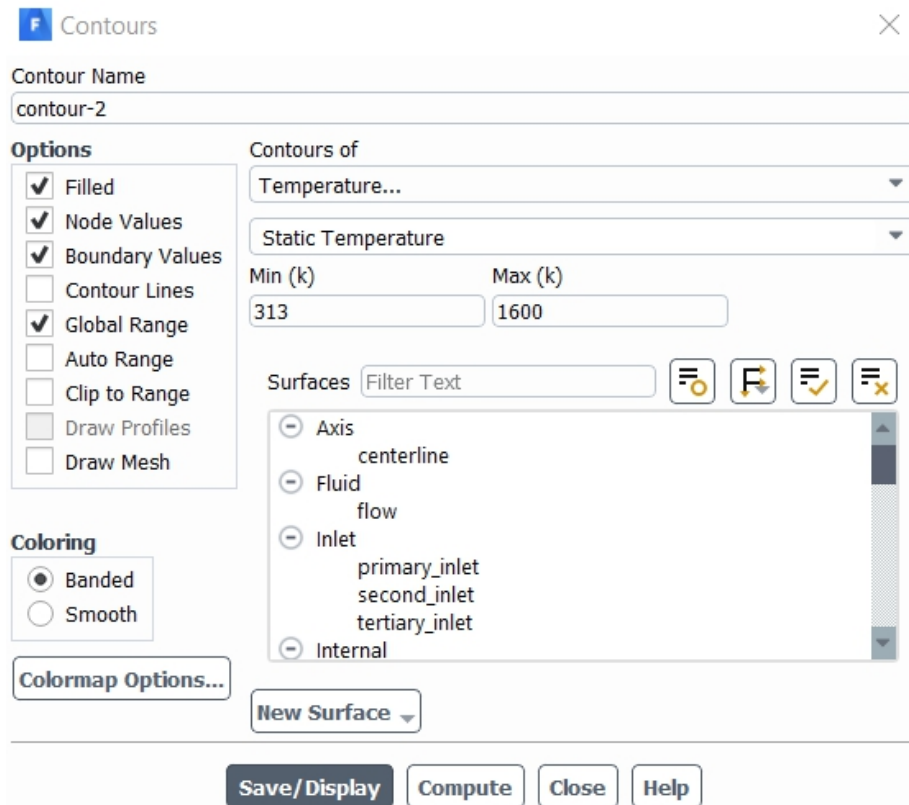
รูปที่ ก 14 แสดงการตั้งค่า Tertiary inlet : Thermal ในโปรแกรม Ansys Fluent



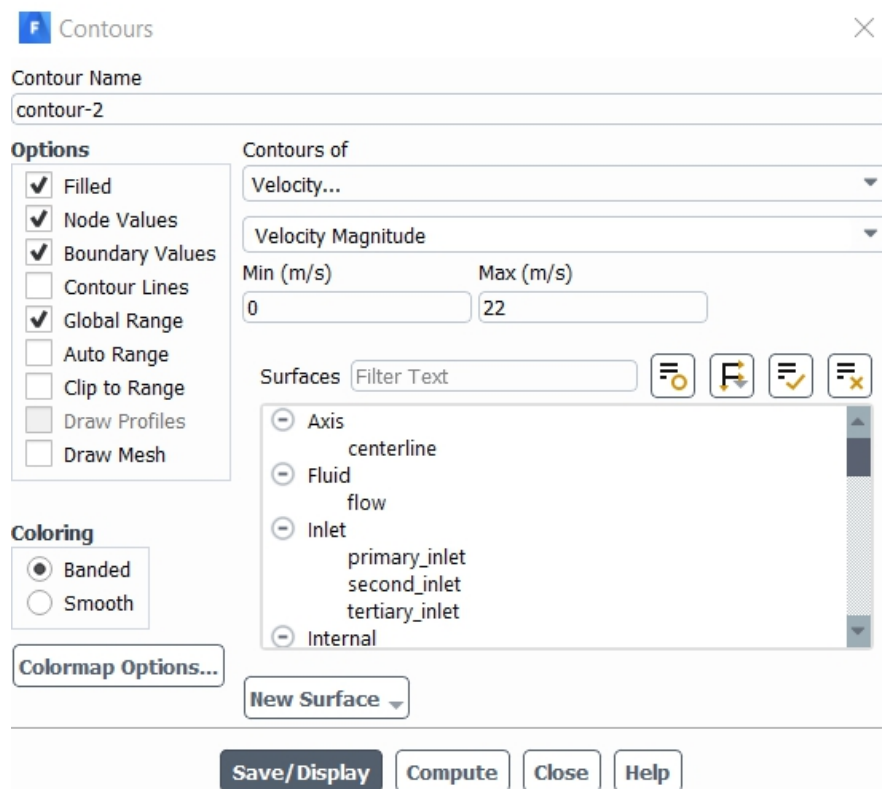
รูปที่ ก 15 แสดงการตั้งค่า Discrete Phase Model ในโปรแกรม Ansys Fluent



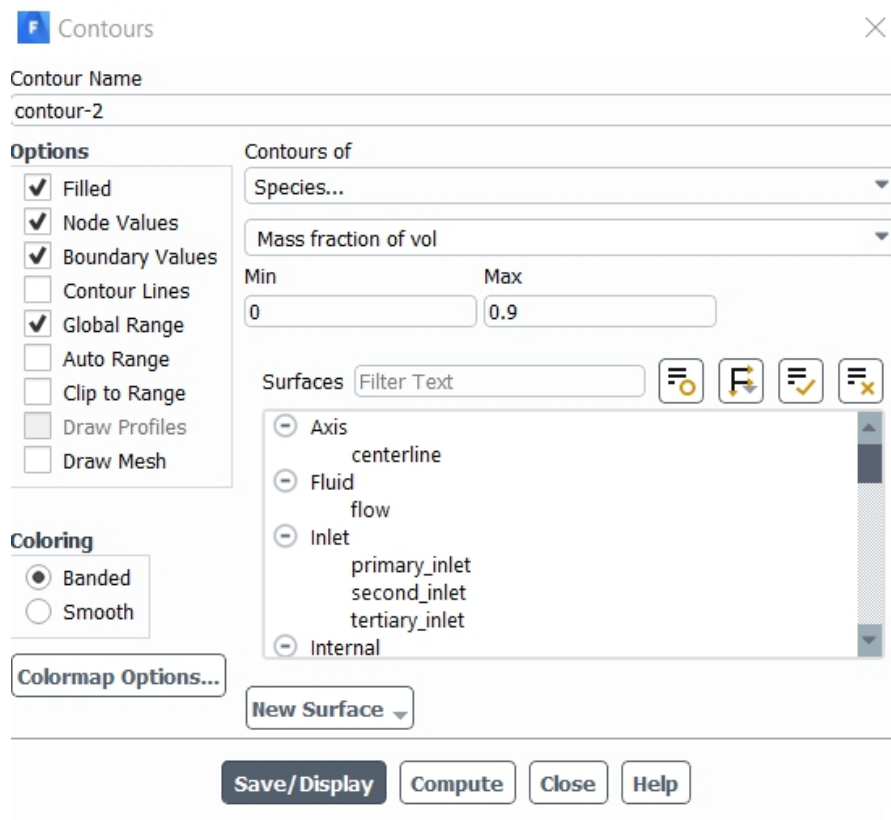
รูปที่ ก 16 แสดงการตั้งค่า Radiation Model ในโปรแกรม Ansys Fluent



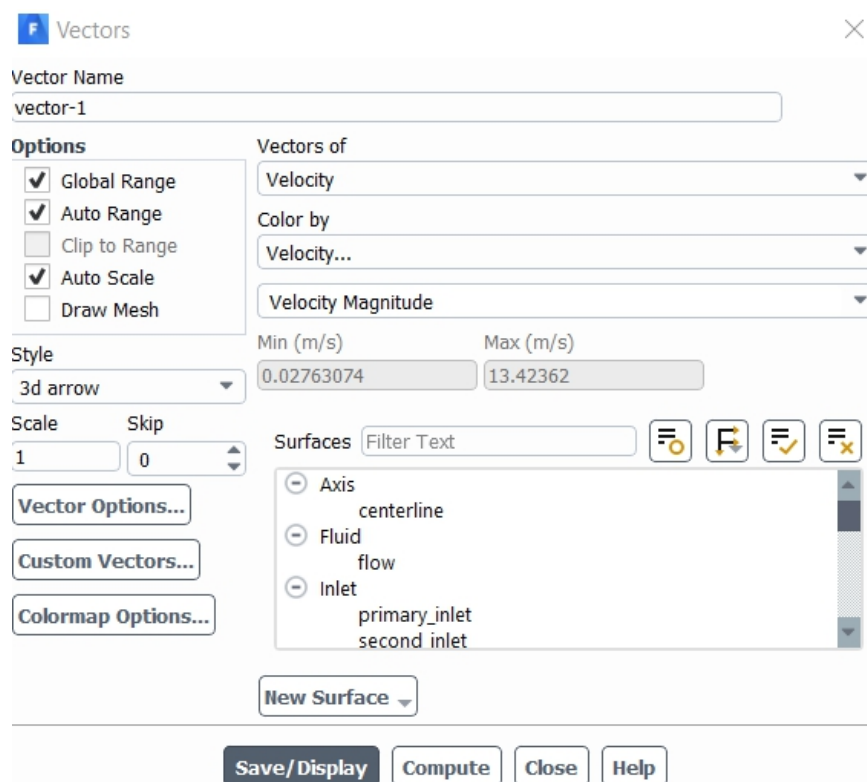
รูปที่ ก 17 แสดงการตั้งค่า Contours : Static Temperature ในโปรแกรม Ansys Fluent



รูปที่ ก 18 แสดงการตั้งค่า Contours : Velocity Magnitude ในโปรแกรม Ansys Fluent



รูปที่ ก 19 แสดงการตั้งค่า Contours : Mass fraction of volatile
ในโปรแกรม Ansys Fluent



รูปที่ ก 20 แสดงการตั้งค่า Vectors : Velocity Magnitude ในโปรแกรม Ansys Fluent

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายกิตติวัฒน์ วงศ์ปรากฏ
วัน เดือน ปีเกิด	7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540
สถานที่เกิด	ชลบุรี
ชื่อผู้เขียน	นายวิศาล ทองประชาญ
วัน เดือน ปีเกิด	10 มกราคม พ.ศ. 2540
สถานที่เกิด	ขอนแก่น
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุชานันท์ ยิ้มณรงค์
วัน เดือน ปีเกิด	9 พฤษภาคม พ.ศ. 2541
สถานที่เกิด	นครสวรรค์