

การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของ
หม้อน้ำที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง

Study of Parameters on Temperature Distribution in furnace
for Bagasse-fired Boiler



นางสาว กรกมล จันทร์ปรี
นางสาว ฐิตารีย์ ตันติกาญจน์
นาย ศุภกฤษฎี นุชิตขจรวุฒิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของ
หม้อน้ำที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง

Study of Parameters on Temperature Distribution in furnace
for Bagasse-fired Boiler



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Parameters on Temperature Distribution in furnace
for Bagasse-fired Boiler

Kornkamol Chanpree

Thitaree Tantikarn

Suppakrit Nuchitkachornwut

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

2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง

Study of Parameters on Temperature Distribution in furnace for Bagasse-fired Boiler

ผู้จัดทำ

1. นางสาว กรกมล จันทรปรี รหัสประจำตัว 63010010
2. นางสาว ฐิตารีย์ ตันติกาญจน์ รหัสประจำตัว 63010261
3. นาย ศุภกฤษฏี นุชิตขจรวุฒิ รหัสประจำตัว 63010927

ภรณ์เพ็ญ สภวิธานกุล.

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ สภวิธานกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง

นางสาวกรกมล	จันทร์ปรี	63010010
นางสาวฐิตารีย์	ตันติกาญจน์	63010261
นายศุภกฤษฎี	นุชิตขจรวุฒิ	63010927
ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ	ลภีรัตน์ากุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2566		

บทคัดย่อ

โครงการปริญญานิพนธ์นี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบจำลองการเผาไหม้ของหม้อน้ำที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงให้สามารถใช้งานร่วมกับเชื้อเพลิงชานอ้อยผสมไบอ้อยได้ เพื่อลดปัญหาฝุ่น PM 2.5 จากการเผาไบอ้อย เนื่องจากน้ำหนักไบอ้อยที่เบาส่งผลให้หลุดลอยออกจากบริเวณที่มีการเผาไหม้และเกิดการอุดตันบริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลพัดลมดูดทำงานหนักขึ้นเพื่อรักษาความดันติดลบ และอาจส่งผลให้เกิดการหยุดเดินเครื่องก่อนหมดฤดูหีบ โดยหม้อน้ำที่นำมาสร้างแบบจำลอง เป็นแบบท่อน้ำ มีขนาด 80 ตันต่อชั่วโมง ผลิตโดย Yoshimine ขอบเขตของการจำลองครอบคลุมเฉพาะห้องเผาไหม้ก่อนถึงบริเวณ Superheater เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ศึกษาได้แก่ ชานอ้อย และใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ Ansys Fluent โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 เฟส โดยเฟส 1 ประกอบไปด้วย การตรวจสอบความเป็นอิสระของเมช และการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ เฟส 2 ประกอบด้วย การสอบเทียบแบบจำลอง และการปรับรูปแบบของอากาศส่วนที่สองของหม้อน้ำ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่เฟส 1 โดยการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือการปรับค่าของแบบจำลอง Devolatilization, การปรับค่าของแบบจำลอง Char Combustion และ การปรับค่า Enthalpy of Formation ของสารระเหย ซึ่งในการปรับค่าของแบบจำลอง Devolatilization เป็นการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการปลดปล่อยสารระเหย โดยเคส A เป็นการเพิ่มความเร็วในการปลดปล่อยสารระเหย ปรับ pre-exponential factor เพิ่ม 10 เท่า และปรับ activation energy ลด 100 เท่าส่งผลให้อุณหภูมิที่ระยะเหนือตะแกรงตั้งแต่ 1.179 ถึง 5.895 เมตรลดลงโดยประมาณ 5% และเคส B เป็นการลดความเร็วในการปลดปล่อยสารระเหย ปรับ pre-exponential factor ลด 10 เท่า และปรับ activation energy เพิ่ม 100 เท่าส่งผลให้อุณหภูมิที่ระยะเหนือตะแกรงตั้งแต่ 1.179 ถึง 5.895 เมตรเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 5% ในส่วนของการปรับค่าของแบบจำลอง Char Combustion เป็นการปรับเปลี่ยนอัตราการปลดปล่อยพลังงานของถ่านชาร์ โดยเคส A อัตราการปลดปล่อยพลังงานของถ่านชาร์มากขึ้น ปรับ mass diffusion limited rate เพิ่ม 100 เท่า และปรับ kinetics limited rate pre-exponential factor เพิ่ม 100 เท่าส่งผลให้อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะเหนือตะกรับตั้งแต่ 1.179 ถึง 3.537 เมตรเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 9% และเคส B อัตราการปลดปล่อยพลังงานของถ่านชาร์น้อยลง ปรับ mass diffusion limited rate ลด 100 เท่า และปรับ kinetics limited rate pre-exponential factor ลด 100 เท่า ส่งผลให้อุณหภูมิที่ระยะเหนือตะกรับตั้งแต่ 1.179 ถึง 3.537 เมตรลดลงโดยประมาณ 11% และในส่วนของ การปรับค่า Enthalpy of Formation เป็นการปรับระยะห่างระหว่างชั้นพลังงานของสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์ โดยเคส A เพิ่มระยะห่างระหว่างชั้นพลังงานขึ้น 2 เท่า ส่งผลให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยลดลงโดยประมาณ 13% และเคส B ลดระยะห่างระหว่างชั้นพลังงานลง 2 เท่าส่งผลให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 18%

คำหลัก: หม้อน้ำ, ชานอ้อย, Devolatilization, Char Combustion, Enthalpy of Formation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Parameters on Temperature Distribution in furnace for Bagasse-fired Boiler

Kornkamol Chanpree 63010010

Thitaree Tantikarn 63010261

Suppakrit Nuchitkachornwut 63010927

Asst.Prof.Dr. Ponepen Laphirattanakul Advisor

Academic Year 2023

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to simulate a bagasse boiler in CFD (Computational Fluid Dynamics) in case of using with bagasse mixed with sugarcane leaves, to reduce the problem of PM 2.5 dust from burning sugarcane leaves in harvest process. Due to the light weight of the sugarcane leaves, it tends to float out from the burning area and clog the wind channel, as well as, the heat recovery system, increasing of induce draft fan workload to maintain the proper negative pressure in the furnace. This may result in an unplanned shutdown. The 80 TPH water tube boiler produced by Yoshimine was modeled partially by focusing the furnace zone, before entering the superheat. The biomass fuel used in this study was bagasse. This research is divided into two phases: phase 1 is mesh independence and studying the influence of parameters on the temperature distribution in the furnace, and phase 2 is validating the model and adjusting the pattern of the second air. This research is on phase 1. The study of parameters on the temperature distribution have been divided into 3 parts: Adjusting of Devolatilization model, Char Combustion model and Enthalpy of Formation. First is adjusting the devolatilization model. For case A, the devolatilization rate is increased by increasing the pre-exponential factor by 10 times and decreasing the activation energy by 100 times. It resulted in the temperature decrease around 5% at the distance of 1.179 to 5.895 m above the grate. For case B, the devolatilization rate is decreased by decreasing the pre-exponential factor by 10 times and increasing the activation energy by 100 times. It resulted in the temperature increase around 5% at the distance of 1.179 to 5.895 m above the grate. Second is adjusting the char combustion model. For case A, the char combustion rate is increased by increasing the mass diffusion limited rate and the kinetics limited rate pre-exponential factor by 100 times. It resulted in the temperature increase around 9% at the distance of 1.179 to 3.537 m above the grate. For case B, the char combustion rate is decreased by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

decreasing the mass diffusion limited rate and the kinetics limited rate pre-exponential factor by 100 times. It resulted in the temperature decrease around 11% at the distance of 1.179 to 3.537 m above the grate. Third is adjusting the enthalpy of formation. For case A, the distance of energy level between the reactant and the product is increased by 2 times. It resulted in the average temperature above the grate decrease around 13%. For case B, the distance of energy level between the reactant and the product is decreased by 2 times. It resulted in the average temperature above the grate increase around 18%.

Keywords: Boiler, bagasse, Devolatilization, Char Combustion, Enthalpy of Formation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือ คำแนะนำ และความเอาใจใส่คอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เสมอมา อีกทั้งยังถ่ายทอดประสบการณ์และความรู้อันเป็นประโยชน์กับวิทยานิพนธ์นี้จาก ผศ.ดร. ภาณุเพ็ญ ลภีรัตนากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างยิ่ง ที่สนับสนุนการศึกษา เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือ สถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่มอบโอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่และคอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ทางคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาว กรกมล จันทร์ปรี

นางสาว ฐิตารีย์ ตันติกาญจน์

นาย ศุภกฤษณ์ นุชิตขจรวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	3
2.1 การศึกษาแบบจำลองหม้อน้ำ.....	3
2.2 ขั้นตอนการวิจัย.....	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
3.1 หม้อน้ำ.....	8
3.1.1 ประเภทของหม้อน้ำ	8
3.1.2 อุณหพลศาสตร์ในหม้อน้ำ.....	11
3.1.3 ประสิทธิภาพในหม้อน้ำ.....	13
3.2 เชื้อเพลิง.....	14
3.2.1 เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuels).....	14
3.2.2 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel).....	14
3.2.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	15
3.2.4 ลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งของระบบสโตคเกอร์	16
3.3 การจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล	19
3.3.1 สมการความต่อเนื่องและโมเมนตัม.....	19
3.3.2 แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Model).....	20
3.3.3 แบบจำลองการแผ่รังสี (Radiation Model).....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4	Discrete Phase Models	21
3.3.5	แบบจำลองการถ่ายโอนสปีชีส์ (Modeling Species Transport).....	22
3.3.6	แบบจำลองการเผาไหม้ของอนุภาค	23
3.4	Rosin rammler distribution	25
บทที่ 4	การออกแบบการทดลอง.....	26
4.1	บทนำ.....	26
4.2	การจำลอง.....	26
4.2.1	โดเมนการจำลอง.....	26
4.2.2	เมช.....	30
4.2.3	การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง	30
บทที่ 5	ผลการทดลอง.....	40
5.1	การปรับปรุงแบบจำลอง.....	40
5.1.1	แบบจำลองวัสดุพูนและแบบเจาะรู.....	40
5.1.2	การปรับ Inlet.....	40
5.1.3	การเพิ่มเลเยอร์ที่ขอบกำแพง.....	42
5.2	การตรวจสอบความเป็นอิสระของเมช	43
5.3	การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายของอุณหภูมิในเตาเผา	46
5.3.1	การปรับค่า Devolatilization.....	46
5.3.2	การปรับค่า Char Combustion	48
5.3.3	การปรับค่าพารามิเตอร์ Enthalpy of formation.....	50
บทที่ 6	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
6.1	สรุปผลการทดลอง	52
6.1.1	การปรับค่าของแบบจำลอง Devolatilization	52
6.1.2	การปรับค่าของแบบจำลอง Char Combustion.....	52
6.1.3	การปรับค่า Enthalpy of Formation ของสารระเหย.....	52
6.2	ข้อเสนอแนะ	53
6.3	การต่อยอดการศึกษา	53
เอกสารอ้างอิง		54
ภาคผนวก.....		56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ	9
รูปที่ 3.2 แผนภาพหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ	9
รูปที่ 3.3 หม้อน้ำแบบผสมท่อไฟ และ ท่อน้ำ	10
รูปที่ 3.4 แผนภาพหม้อน้ำแบบท่อน้ำ	11
รูปที่ 3.5 หม้อน้ำแบบท่อน้ำ.....	11
รูปที่ 3.6 สโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน.....	17
รูปที่ 3.7 สโตกเกอร์แบบตะกรับโซ่	17
รูปที่ 3.8 สโตกเกอร์แบบมีตัวกระจายเชื้อเพลิง	18
รูปที่ 3.9 สโตกเกอร์แบบตะกรับสั้น	18
รูปที่ 4.1 แบบหม้อน้ำยี่ห้อ Yoshimine ขนาด 80 TPH	26
รูปที่ 4.2 แบบจำลองหม้อน้ำ.....	27
รูปที่ 4.3 มุมมองของหม้อน้ำด้านข้าง ด้านหน้า และ ด้านหลัง ตามลำดับ	27
รูปที่ 4.4 มุมมองของหม้อน้ำด้านข้าง ด้านหน้า และ ด้านหลัง ตามลำดับ	28
รูปที่ 4.5 ภาพตะกรับในหม้อน้ำ.....	29
รูปที่ 4.6 ตะกรับชนิดวัสดุพูน	29
รูปที่ 4.7 ตะกรับชนิดเจาะรู	29
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการสร้างเมซของแบบจำลอง	30
รูปที่ 4.9 a Rosin-Rammler size distribution for typical Southern-African sugarcane diffuser Bagasse [1].....	31
รูปที่ 4.10 รายงานผลการตรวจสอบและวิเคราะห์กากอ้อย.....	33
รูปที่ 4.11 การคำนวณ Dry Ash Free (DAF).....	33
รูปที่ 5.1 การติดตามอนุภาคของแบบจำลองที่มีตะกรับเป็นแบบวัสดุพูน	40
รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายอนุภาคในเตาเผาของหม้อน้ำ	41
รูปที่ 5.3 แสดงแบบจำลองที่ปรับลักษณะของ inlet ทั้งหมด	41
รูปที่ 5.4 แสดงการกระจายอนุภาคในเตาเผาของแบบจำลองใหม่.....	42
รูปที่ 5.5 แสดงการ Inflation 5 layers ที่ขอบกำแพง.....	42
รูปที่ 5.6 ลักษณะและจำนวนเมซของหม้อน้ำ	43
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงอนุภาคแต่ละตำแหน่งในแนวตั้งจากบนตะกรับถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำ	44
รูปที่ 5.8 แสดงการสร้างเมซใหม่ที่จำนวนเมซเป็น 1324995	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงอุณหภูมิต่อตำแหน่งในแนวตั้งจากบนตะกั่วถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำ	46
รูปที่ 5.10 อุณหภูมิตามแนวแกนในการปรับค่า Devolatilization	47
รูปที่ 5.11 อุณหภูมิตามแนวแกนในการปรับค่า Char Combustion อุณหภูมิตามแนวแกน	49
รูปที่ 5.12 อุณหภูมิตามแนวแกนในการปรับค่า Enthalpy of formation	51
รูปที่ 6.1 แสดงแผนผังการต่อยอดการศึกษา	53
รูปที่ ภาคผนวก ก 1 รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์	57
รูปที่ ภาคผนวก ก 2 แสดงการปรับรูปแบบอากาศส่วนที่สอง รูปแบบที่ 1	59
รูปที่ ภาคผนวก ก 3 แสดงการปรับรูปแบบอากาศส่วนที่สอง รูปแบบที่ 2	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลสรุปงานวิจัยในการศึกษาแบบจำลองหม้อน้ำ.....	5
ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลการตั้งค่าส่วน Models.....	31
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า material ในส่วน Fluid และ Solid.....	34
ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า material ในส่วน Mixture.....	35
ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า Boundary conditions.....	37
ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า Methods.....	39
ตารางที่ 5.1 การปรับค่า Devolatilization.....	47
ตารางที่ 5.2 อุณหภูมิตามแนวแกนจากการปรับค่า Devolatilization.....	47
ตารางที่ 5.3 การปรับค่า Char Combustion.....	48
ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิตามแนวแกนจากการปรับค่า Char Combustion.....	49
ตารางที่ 5.5 การปรับค่า Enthalpy of formation.....	50
ตารางที่ 5.6 อุณหภูมิตามแนวแกนจากการปรับค่า Enthalpy of formation.....	50
ตารางที่ ภาคผนวก ก 1 แสดงการคำนวณรายละเอียดของเชื้อเพลิงใหม่โดยใช้ Microsoft Excel Program.....	58
ตารางที่ ภาคผนวก ก 2 แสดงการคำนวณความหนาแน่นของเชื้อเพลิงใบอ้อยโดยใช้ Microsoft Excel Program.....	58
ตารางที่ ภาคผนวก ก 3 แสดงการทดลองหาขนาดมวลลละของใบอ้อย.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโรงงานน้ำตาลมีการใช้พลังงานไอน้ำและน้ำร้อนที่ผลิตจากหม้อน้ำ (Boiler) สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล และนำไปผลิตไฟฟ้าซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งนำมาใช้ภายในโรงงานและส่วนที่สองขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และในการขายไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีการทำสัญญาซื้อขายเป็นจำนวนที่ชัดเจน ทำให้การผลิตไฟฟ้าต้องมีความสม่ำเสมอและมีเสถียรภาพ ซึ่งเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า คือ ขานอ้อย ที่เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการหีบอ้อย เนื่องจากคุณสมบัติของขานอ้อยที่ติดไฟง่าย ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และมีค่าความร้อนที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นโรงงานน้ำตาลจึงได้มีการใช้หม้อน้ำที่ออกแบบมาสำหรับใช้ขานอ้อยโดยเฉพาะ เพื่อให้ได้พลังงานประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตามนับตั้งแต่ที่ประเทศไทยได้เผชิญปัญหาฝุ่น PM 2.5 ที่มีความรุนแรงขึ้นจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากการเผาใบอ้อย เนื่องจากใบอ้อยเป็นอุปสรรคต่อการเก็บเกี่ยวเกษตรกรจึงเลือกที่จะเผาใบอ้อยเพื่อกำจัดใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว ทางภาครัฐจึงออกมาตรการสำหรับลดการเผาใบอ้อยโดยให้กลุ่มโรงงานน้ำตาลรับซื้อใบอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอีกหนึ่งชนิด แต่เนื่องจากใบอ้อยมีน้ำหนักเบา การนำใบอ้อยมาใช้ในหม้อน้ำที่ออกแบบมาสำหรับขานอ้อย จึงส่งผลให้เกิดเถ้าลอยเป็นจำนวนมาก คาดว่าเป็นผลมาจากอากาศส่วนที่สองที่จ่ายเข้ามาปะทะกันในห้องเผาไหม้ สลายโมเมนต์ของใบอ้อยที่มีค่าน้อยอยู่แล้ว และทำให้หลุดลอยไปสู่ส่วนท้ายของหม้อน้ำ เกิดการอุดตันในเครื่องอุ่นน้ำป้อนและเครื่องอุ่นอากาศ ทั้งนี้เพื่อรักษาความดันติดลบในห้องเผาไหม้ พัดลมดูดจึงต้องทำงานหนักขึ้นและอาจส่งผลให้เกิดการหยุดเดินเครื่องก่อนหมดฤดูหีบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการศึกษาและปรับปรุงลักษณะการจ่ายอากาศส่วนที่สองในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ เพื่อให้ใบอ้อยเกิดปฏิกิริยาให้เสร็จสิ้นภายในห้องเผาไหม้ ลดการหลุดลอยไปอุดตันที่ส่วนท้ายหม้อน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องไหม้ของหม้อน้ำ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การปรับค่าพารามิเตอร์ Devolatilization, Char Combustion และ Enthalpy of formation จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำจากแบบจำลอง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 หม้อน้ำแบบท่อน้ำมีขนาด 80 ตันต่อชั่วโมง ผลิตโดย Yoshimine
- 1.4.2 ขอบเขตของการจำลองครอบคลุมเฉพาะห้องเผาไหม้ก่อนถึงบริเวณ Superheater
- 1.4.3 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ศึกษาได้แก่ ชานอ้อย

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และสมมติฐาน
- 1.5.3 ศึกษาและทดลองใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย
- 1.5.4 สร้างแบบจำลองตามกรณีที่ต้องการศึกษาตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตการศึกษา
- 1.5.5 ศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ
- 1.5.6 บันทึกและวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง
- 1.5.7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะเพื่อจัดทำเป็นรูปเล่ม

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 การศึกษาแบบจำลองหม้อน้ำ

Ryno Laubscher และ Schalk van der Merwe [1] ได้นำเสนอแบบจำลอง CFD ของหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นขานอ้อยแบบกึ่งแขวนลอยที่เน้นการถ่ายเทความร้อนไปยังผนังเตาเผา ท่อไอน้ำที่ยังยวด และท่อคอยล์เย็น แบบจำลองนี้ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยสำหรับปฏิกิริยาของอนุภาคเชื้อเพลิงบนตะแกรง การถ่ายเทความร้อนด้านข้างด้วยไอน้ำที่ยังยวด และการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์เย็นโดยใช้วิธีตัวกลางที่เป็นรูพรุน (porous) แบบจำลองได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้การวัดค่าจากโรงงานสำหรับ 2 กรณีคือ แบบเดินเครื่อง 100% และ 65% และยังมีการแสดงผลลัพธ์เป็นพล็อตความร้อน การกระจายอุณหภูมิของโลหะในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ผลกระทบของการทำงานของชิ้นส่วนต่อการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อน ผลที่ได้คือ กรณีแบบเดินเครื่อง 65% จะเกิดการเผาไหม้ที่บริเวณใกล้กับผนังด้านหลังอันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคเชื้อเพลิงได้ลึกมากขึ้น ทำให้ผนังด้านหน้ามีอัตราการดูดซับความร้อนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผนังด้านข้างและด้านหลัง

Felipe Orlando Centeno-González และคณะ [2] ได้ศึกษาและนำเสนอแบบจำลอง CFD ของเตาเผาในหม้อน้ำอุตสาหกรรมที่ทำงานโดยใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งได้รับการพัฒนาเพื่อประเมินประสิทธิภาพ แบบจำลองนี้ได้ใช้การพัฒนาในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ ANSYS FLUENT และในการตั้งข้อกำหนดการปลดปล่อยสารระเหย (Devolatilization) และการเผาไหม้บนตะแกรง ได้มีการใช้ฟังก์ชันที่ พัฒนาขึ้นมาตามวัตถุประสงค์ (user-defined functions (UDFs)) ในภาษา C ซึ่งผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปลดปล่อยสารระเหย (Devolatilization) เป็นปรากฏการณ์หลักผ่านส่วนที่ใหญ่ที่สุดของวิถีของอนุภาค และด้วยเหตุนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการทำนายสนามความร้อน (thermal fields) แต่ในทางกลับกัน ถ่านจะถูกเผาบนตะแกรงหรือถูกกักไว้ให้ผ่านทางออกของเตาเผา บทความนี้จะอภิปรายถึงผลกระทบของขนาดอนุภาค การสลายตัวของออกซิเจน การกระจายตัวของออกซิเจน และของแข็งและก๊าซที่ไม่ถูกเผาไหม้ต่อพฤติกรรมเผาไหม้และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ผลที่ได้คือ อนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเผาไหม้บนตะแกรง ในขณะที่อนุภาคเชื้อเพลิงขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเผาไหม้ระหว่างที่เคลื่อนที่ไปตามการไหลภายในห้องเผาไหม้และกลายเป็นถ่านชาร์เมื่อออกจากห้องเผาไหม้ ดังนั้น การมีอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ดูเหมือนจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน อนุภาคขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะไปถึงผนังด้านหลังสูง และมีโอกาสเกิดตะกรันที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fabian Andrey Diaz-Mateus และคณะ [3] นำเสนอวิธีการจำลองหม้อน้ำอุตสาหกรรมแบบตะกรับเลื่อนในรูปแบบ CFD ที่ละขั้นตอน เนื่องด้วยข้อจำกัดในเรื่องของขนาดที่ใหญ่และปรากฏการณ์ทางกายภาพต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่าง ๆ ของอุปกรณ์ ในการศึกษาี้ แบบจำลองหม้อน้ำจึงมีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ช่องอากาศหลัก (primary air) ช่องอากาศส่วนที่สอง (secondary air) และส่วนสุดท้ายคือเตาเผา ในการศึกษาเพื่ออธิบายการเผาไหม้ของขานอ้อย อนุภาคของขานอ้อยจึงถูกจำลองขึ้นในแนวทางยูเลอเรียน-ลากรองจ์ (Eulerian-Lagrangian) แบบจำลองนี้ใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ ANSYS FLUENT และใช้โปรแกรมในภาษา C ในรูปแบบ user-defined functions (UDF) จากการทดลองที่ดำเนินการปรับเปลี่ยนช่องอากาศทั้งช่องอากาศหลัก (primary air) และ ช่องอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ได้ผลออกมาว่า การปรับมีการปรับปรุงพารามิเตอร์การเผาไหม้มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

Chungen Yin และคณะ [4] นำเสนอการสร้างแบบจำลองหม้อน้ำที่แบบตะกรับเลื่อนขนาด 88 เมกะวัตต์ และมีฟางข้าวสาทิเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้ทั้งการวัดผลเชิงทดลองและการสร้างแบบจำลอง CFD เพื่อระบุลักษณะและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งการศึกษานี้ได้มีการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาในการสร้างแบบจำลอง เช่น การจำลองลักษณะเชื้อเพลิงบนตะกรับ การแสดงก๊าซระเหย ปฏิกริยาออกซิเดชันของถ่าน อนุภาคเขม่า และคุณภาพของการทำ meshing ในโปรแกรม โดยความคลาดเคลื่อนได้รับการวิเคราะห์ในหลายๆแง่มุม และสรุปผลโดยละเอียดเพื่อให้การศึกษานี้สามารถอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องของการสร้างแบบจำลอง ตลอดจนปรับปรุงเทคโนโลยีตะกรับเลื่อน

César A. Bermúdez และคณะ [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการในการใส่เชื้อเพลิงจากด้านข้างของเตา โดยใช้ค่าความอึดตัวของชั้นเชื้อเพลิงและแรงผลักของระบบใส่เชื้อเพลิง การทดลองนี้ใช้โมเดล Eulerian ที่รวมกับโปรแกรม CFD ANSYS-Fluent เพื่อจำลองพฤติกรรมของชั้นเชื้อเพลิงแข็งและการแลกเปลี่ยนความร้อนและสารระหว่างชั้นเชื้อเพลิงและก๊าซ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงรูปร่างและความหนาของชั้นเชื้อเพลิง โปรไฟล์อุณหภูมิของชั้นเชื้อเพลิงและก๊าซ และการกระจายตัวของสารต่างๆในก๊าซ ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลทดลองในระดับที่ยอมรับได้

D. J. O. Ferreira และคณะ [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากรูปแบบต่างๆของการแผ่รังสีในห้องเผาไหม้ของหม้อต้มด้วยโปรแกรม CFD โดยมีรูปแบบของการแผ่รังสี 2 แบบคือ แบบ P1 approximation และแบบ discrete transfer method (DTM) ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 2 แบบมีความคล้ายคลึงกันทั้งอุณหภูมิและโปรไฟล์ความเร็ว แต่ DTM ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและควบคุมได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถตั้งค่าทิศทางของการติดตามรังสีได้

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

Yaojie Tu และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการหมุนเวียนอากาศของการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์คือเพื่อเปรียบเทียบผลจากการสร้างแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง และเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการที่เปลี่ยนหัวจ่ายอากาศให้รูปแบบของการไหลอากาศเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถสรุปผลมาได้ว่าในการสร้างแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องนั้นตัวเลขที่ได้มามีความถูกต้องเพียงพอ และผลลัพธ์จากการเปลี่ยนหัวจ่ายอากาศพบว่าสามารถลด NO_x ได้ ทางผู้จัดทำจึงนำรูปแบบของขั้นตอนการวิจัยของงานวิจัยนี้มาอ้างอิงเป็นรูปแบบขั้นตอนการศึกษา

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลสรุปงานวิจัยในการศึกษาแบบจำลองหม้อน้ำ

Reference	Fuel	Boiler Type	Method	Finding
Ryno Laubscher และ Schalk van der Merwe [1]	Bagasse	Semi-suspension fired bagasse boiler	Simulated the case study boiler for 100% and 65% load cases	To investigate heat flux and metal temperature distributions in the various heat exchanger
Felipe Orlando Centeno-González และคณะ [2]	Sugarcane Bagasse	Industrial grate boiler	Simulation using the commercial software ANSYS Fluent with user-defined functions programmed in C language to define devitalization phenomenon	Study the combustion phenomena of biomass particles and the overall efficiency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reference	Fuel	Boiler Type	Method	Finding
			as well as combustion on the grate	
Fabian Andrey Diaz-Mateus และคณะ [3]	Bagasse	Industrial grate boiler	Primary and secondary air inlets modifications	To optimize the boiler performance
Chungen Yin และคณะ [4]	Wheat straw	88 MW grate-fired boiler	Simulated the model of an 88 MW grate-fired boiler burning wheat straw	To facilitate the modeling validation as well as improve grate-firing technology
César A. Bermúdez และคณะ [5]	Mixing of woody residues (woodchips, bark, and sawdust)	Grate boiler	Simulated a large-scale moving grate biomass furnace using an Eulerian fixed-bed biomass combustion model coupled with the CFD commercial code ANSYS-Fluent	Compare the result from the new procedures with the experimental data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reference	Fuel	Boiler Type	Method	Finding
D. J. O. Ferreira และคณะ [6]	Sugarcane Bagasse	Sugarcane bagasse grate boiler	Simulated the grate sugarcane bagasse boiler without radiation and with radiation represented by the P1 Approximation Method and by the Discrete Transfer Method (DTM)	The impact of different radiation model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

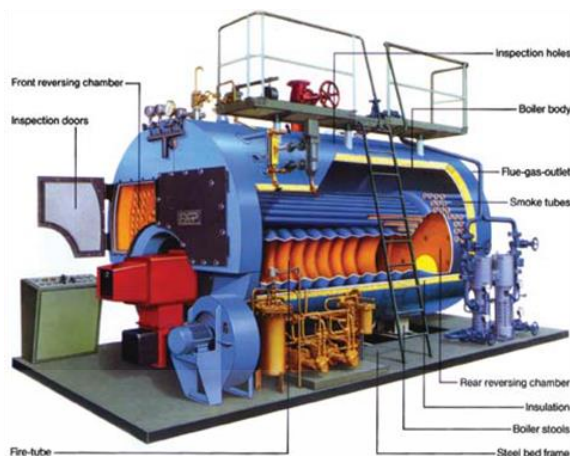
3.1 หม้อน้ำ

หม้อน้ำคือภาชนะที่สามารถผลิตไอน้ำได้ในปริมาณหรือความดันที่ต้องการสำหรับงานอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นหม้อไอน้ำจึงได้รับการออกแบบเพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงไอน้ำอัดตัวสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการผลิต และไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิและความดันสูงสำหรับโรงไฟฟ้า กระบวนการผลิตไอน้ำจะเริ่มต้นจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ทำให้น้ำในหม้อไอน้ำระเหยกลายเป็นไอ และเนื่องจากการระเหยของน้ำถูกจำกัดอยู่ในพื้นที่ของหม้อน้ำ จึงทำให้เกิดความดันที่นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตหรือขับเคลื่อนเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม [7]

3.1.1 ประเภทของหม้อน้ำ

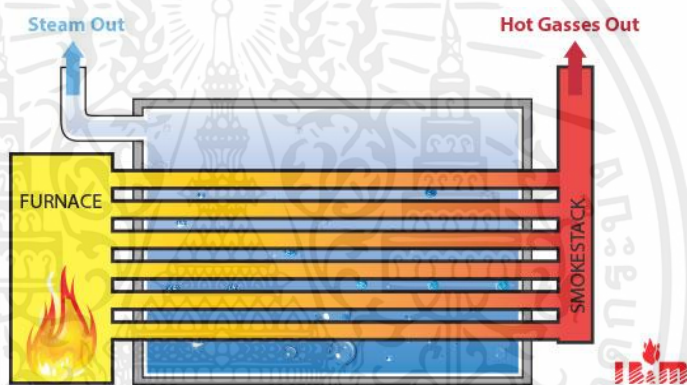
1) หม้อน้ำแบบท่อไฟ

หม้อน้ำแบบท่อไฟเป็นหม้อไอน้ำที่มี “ไฟอยู่ในท่อ” และน้ำอยู่บริเวณด้านนอก โดยหม้อน้ำชนิดนี้จะมีห้องเผาไหม้ และไฟจะถูกส่งไปตามท่อไฟ มีการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไฟไปท่อ และจากท่อไปน้ำ ซึ่งการออกแบบของท่อไฟที่ทั้งแบบไหลทางเดียว ไหลสองกลับ ไหลสามกลับ และไหลแบบสี่กลับ ซึ่งอาจจะเป็นแบบ หลังเป็ยกหรือแห้ง โดยทั่วไปความดันของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟจะมีความดันไม่เกิน 150 psi และกำลังผลิตที่ต่ำกว่า 15 ตันต่อชั่วโมง โดยจะนำไปใช้งานตั้งแต่ หัวจักรรถไฟ, เรือกลไฟ, โรงสีไฟ, โรงงานกระดาษ, โรงงานอาหารสัตว์ และโรงงานผลไม้กระป๋อง เป็นต้น โดยที่เตาเผาจะมีการเผาเชื้อเพลิงเพื่อผลิตก๊าซร้อนและจะถูกส่งผ่านท่อไฟ ท่อดับเพลิงจะจมอยู่ในน้ำภายในถังหลัก และเริ่มต้นด้วยการถ่ายเทพลังงานความร้อนของก๊าซร้อนไปยังน้ำโดยรอบขณะเดินทางผ่านท่อ ไอน้ำถูกสร้างขึ้นในน้ำซึ่งจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ และจะถูกกักเก็บไว้ในหม้อต้มน้ำแบบท่อดับเพลิงเดียวกัน [8]



รูปที่ 3.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

(<https://oelectrical.com/fire-tube-boiler/>)



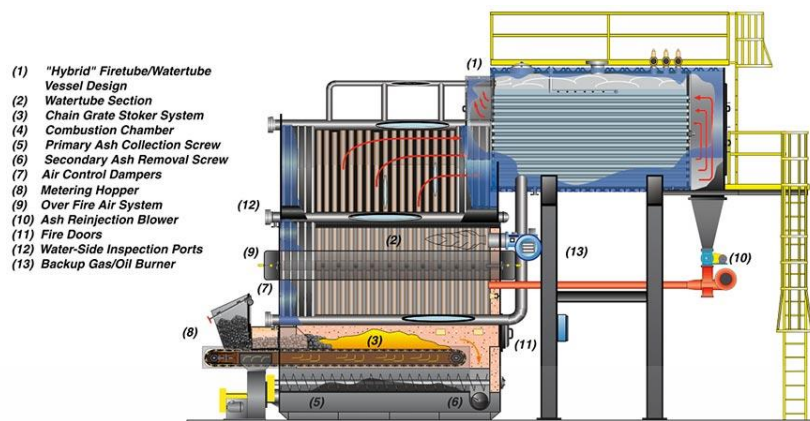
รูปที่ 3.2 แผนภาพหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

(<https://industrialboiler.com/boilers/firetube-boilers>)

2) หม้อน้ำแบบผสมท่อไฟ และ ท่อน้ำ

เป็นการออกแบบโดยมีส่วนประกอบทั้งแบบท่อน้ำ และแบบท่อไฟ โดยในส่วนของประกอบด้านบนจะเป็นส่วนที่เรียกว่า Hybrid ซึ่งส่วนของท่อไฟที่อยู่บริเวณด้านบนขวา ถูกออกแบบเป็นแบบ 2-Pass Fire tube (Scotch Marine Boiler) ใช้เชื้อเพลิงจากกระบวนการเผาไหม้ผ่านท่อไฟใหญ่มาให้ความร้อนและน้ำอยู่บริเวณ Shell และในส่วนที่เป็นท่อน้ำจะอยู่ในโซนด้านซ้ายเป็นท่อน้ำแบบตั้ง ซึ่งจะเชื่อมต่อบริเวณและออกแบบ Configuration ต่อตรงกับส่วนของท่อไฟ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หม้อน้ำแบบผสมท่อไฟ และ ท่อน้ำ

(<https://naichangmashare.com/2021/07/04/hybrid-boiler-ep4/>)

3) หม้อน้ำแบบท่อน้ำ

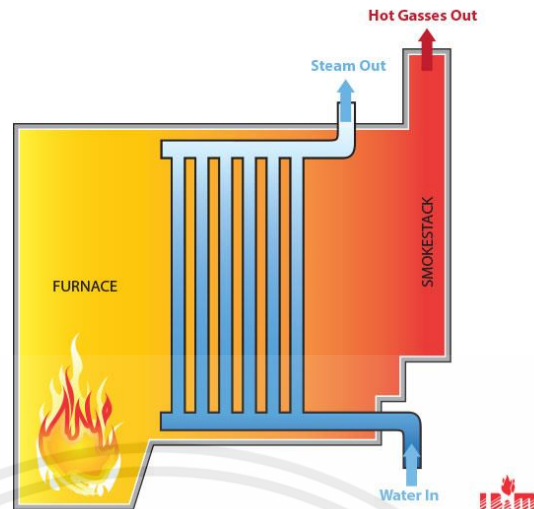
หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำคือหม้อไอน้ำชนิดหนึ่งที่มีน้ำที่ไหลเวียนอยู่ในท่อ ได้รับความร้อนจากภายนอกด้วยไฟ โดยเครื่องกำเนิด ไอน้ำแบบท่อน้ำเป็นแบบที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่มีความต้องการไอน้ำที่มีแรงดันหรืออุณหภูมิสูงกว่าความสามารถของหม้อน้ำแบบท่อไฟ ซึ่งหม้อน้ำประเภทนี้สามารถผลิตไอน้ำได้มากถึง 500 kg/s ความดันไอน้ำมากถึง 160 bar และ Superheated steam ได้ถึง 550 °C

สามารถพบได้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้า โรงปิโตรเคมี โรงซีเมนต์ และโรงกลั่นน้ำมัน

ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญดังนี้

- Steam drum หรือ ถังพักไอน้ำ ทำหน้าที่เก็บพักและแยกไอน้ำ ซึ่งอยู่ด้านบนของหม้อน้ำ
- Mud drum หรือ ถังโคลน ทำหน้าที่กักเก็บตะกอน ตะกรันของเสีย ซึ่งอยู่ด้านล่างของหม้อน้ำ
- Water tube หรือ ท่อน้ำ ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับไฟที่อยู่ด้านนอกท่อ และไหลเวียนพลังงานความร้อนภายในหม้อน้ำ ซึ่งก็แบ่งเป็นท่อ Downcomer และ ท่อ Riser ที่ทำหน้าที่ส่งน้ำขึ้น และลง ตามลำดับ

หลักการการทำงานของหม้อน้ำ คือ เมื่อน้ำในท่อถูกให้ความร้อนจากด้านนอก น้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลขึ้นไปตามท่อ water tube (Riser tube) ไปยังถังพักไอน้ำหรือ Steam drum จากนั้นในถังพักไอน้ำจะแยกระหว่างน้ำ และไอน้ำออกจากกัน โดยไอน้ำก็จะวิ่งเข้าสู่ช่วง Superheater เพื่อผลิตไอน้ำ (superheated steam) และนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในระบบ [11]



รูปที่ 3.4 แผนภาพหม้อน้ำแบบท่อน้ำ

(<https://industrialboiler.com/boilers/watertube-boilers>)



รูปที่ 3.5 หม้อน้ำแบบท่อน้ำ

(<http://www.lohoigetabec.com/Product/WATER-TUBE-BOILER-ad2.html>)

3.1.2 อุณหพลศาสตร์ในหม้อน้ำ

กฎข้อแรกของอุณหพลศาสตร์เป็นเรื่องเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานขั้นพื้นฐานซึ่งกล่าวว่า "ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ นั้น พลังงานจะไม่ถูกสร้างขึ้นใหม่ และไม่มีการสูญหายไป แต่สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอื่นได้" โดยจะพิจารณาหม้อน้ำเป็นระบบเปิด ซึ่งเป็นระบบที่มีการแลกเปลี่ยนทั้งพลังงาน และมวลสารกับสิ่งแวดล้อม เป็นการไหลคงที่ในสภาวะคงตัว (SSSF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการอนุรักษ์พลังงาน :

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = d\dot{E}_{sys} \quad (3-1)$$

พลังงานรวมของระบบเปิด (ปริมาตรควบคุม) จะคงที่ในช่วงที่กระบวนการไหลคงตัว (steady-flow) ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ไหลเข้าและออกจะเท่ากัน สำหรับกระบวนการที่มีการไหลคงตัว (steady-flow) รูปแบบของอัตราสมมูลพลังงานทั่วไป :

$$E_{in} = E_{out} \quad (3-2)$$

รูปแบบของอัตราการอนุรักษ์พลังงาน :

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (3-3)$$

โดยที่พลังงานทั้งหมดที่เคลื่อนที่โดยมวลของระบบ SSSF ประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือ เอนทาลปี พลังงานจลน์ และพลังงานศักย์

$$E = H + \frac{1}{2}mv^2 + mgz \quad (3-4)$$

ในรูปแบบของ mass basis :

$$e = \frac{E}{h} = h + \frac{1}{2}v^2 + gz \quad (3-5)$$

สมการการอนุรักษ์มวล :

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \quad (3-6)$$

อัตราการไหลของมวลของการประมาณการไหลแบบหนึ่งมิติ :

$$\dot{m} = \rho v A_c \quad (3-7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลเชิงปริมาตร :

$$\dot{V} = vA_c = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (3-8)$$

ตามกฎข้อแรกของอุณหพลศาสตร์สมการวิเคราะห์พลังงานสำหรับการไหลแบบ SSSF :

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}_{in} \left(h + \frac{1}{2}v^2 + gz \right)_{in} = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}_{out} \left(h + \frac{1}{2}v^2 + gz \right)_{out} \quad (3-9)$$

โดยไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์และไม่มีการไหลเข้าออก การอนุรักษ์พลังงานจึงเขียนได้เป็น [10] :

$$Q = m(h_2 - h_1) \quad (3-10)$$

3.1.3 ประสิทธิภาพในหม้อน้ำ

ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเป็นตัววัดว่าพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนในไอน้ำที่ส่งไปยังกังหันได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด การสูญเสียประสิทธิภาพของหม้อน้ำที่ใหญ่ที่สุดคือความร้อนที่สูญเสียไปเมื่อก๊าซไอเสียร้อน (และเถ้า) ออกจากหม้อน้ำ ปริมาตรของก๊าซไอเสียที่ออกจากหม้อต้มจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและระดับอากาศส่วนเกิน การสูญเสียคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้จะเท่ากับสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ซึ่งไม่ได้ถูกเผาไหม้ในหม้อน้ำ และเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของเชื้อเพลิง การสูญเสียประสิทธิภาพอื่นๆ เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนไปยังสภาพแวดล้อมหม้อน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพความร้อนของหม้อต้มสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีทางตรงและทางอ้อม

วิธีทางตรง :

$$\eta_{th} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \cdot 100 = \frac{m_w(h_{steam} - h_{fw})}{m_f(HV)} \cdot 100 \quad (3-11)$$

โดยที่ HV คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น ๆ ขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำในผลิตภัณฑ์ที่เผาไหม้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ขึ้นอยู่กับเฟสของน้ำซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้

ค่าความร้อนจะอ้างอิงถึง lower heating value (LHV) เมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์ที่เผาไหม้ระเหยไปจนหมด ซึ่งหมายความว่าความร้อนที่ปล่อยออกมา บางส่วนถูกแบ่งปันให้กับน้ำ หรือในกรณีที่น้ำในผลิตภัณฑ์ที่เผาไหม้มีสถานะเป็นของเหลวทั้งหมด ค่าความร้อนจะ เป็นที่รู้จักในชื่อ higher heating value (HHV) [11]

ความสัมพันธ์ของ HHV และ LHV สามารถแสดงเป็น :

$$HHV = LHV + (mh_{fg})_{H_2O} \quad (3-12)$$

วิธีทางอ้อม :

$$\eta_{th} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \cdot 100 = (1 - \text{Loss}) \cdot 100 \quad (3-13)$$

การสูญเสียความร้อนในหม้อน้ำอ้างอิงจากมาตรฐาน Japanese; JIS B8222 ประกอบด้วย การสูญเสียความร้อนจากก๊าซไอเสียแห้ง (L_1) การสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (L_2) การสูญเสียความร้อนในเชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ (L_3) การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี (L_4) การสูญเสียความร้อนจากระเบิด (L_5) และการสูญเสียความร้อนอื่นๆ (L_6) [12]

เขียนสมการได้เป็น :

$$\text{Loss} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 \quad (3-14)$$

3.2 เชื้อเพลิง

3.2.1 เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuels)

เชื้อเพลิงแข็งคือเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุดมภูมิปกติ ส่วนมากประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และเถ้า (Ash) ที่เมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ไม้ ฟืน เศษวัชพืชต่างๆ ถ่านหิน หินน้ำมัน (Oil Shale) และแกลบ [13]

3.2.2 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพคือเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล (Biomass) ที่หมายถึงสสารที่ได้จากพืชและสัตว์ตามธรรมชาติโดยมีพื้นฐานจากการสังเคราะห์แสง แล้วเก็บรวบรวมพลังงานจากดวงอาทิตย์เอาไว้ในรูปของพลังงานเคมี เชื้อเพลิงชีวภาพในรูปของแข็ง ได้แก่ ไม้ ชี้เลื่อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด มูลสัตว์ ถ่าน เขา เปลือกสัตว์หรือเปลือกพืช และขานอ้อย สารประกอบแต่ละชนิดจะให้ความร้อนแตกต่างกันไป เชื้อเพลิงที่มีความชื้นต่ำจะให้ค่าความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง [14]

3.2.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง แบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการ ได้แก่

1) การทำให้แห้ง (Drying)

กระบวนการทางความร้อนที่มาจากการพาความร้อนของแก๊สหมุนวนและการสะท้อนรังสีของผนังห้องเผาไหม้ผ่านมายังพื้นผิวของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นจะเกิดการนำความร้อนภายในตัวเชื้อเพลิง โดยวัตถุประสงค์หลักคือการทำให้แห้งหรือทำให้ความชื้นทั้งที่ผิวหน้าและด้านในของเชื้อเพลิงหายไป ทำให้ในขั้นตอนนี้เชื้อเพลิงจะมีอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส)

2) การปลดปล่อยสารระเหย (Devolatilization)

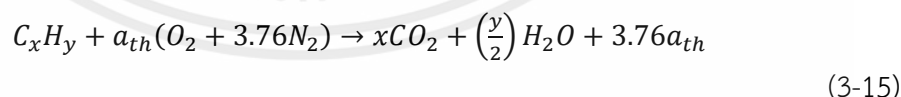
กระบวนการที่เกิดขึ้นต่อจากการทำให้แห้งเมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อนมาช่วงเวลาหนึ่ง ความร้อนที่สะสมในตัวเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิถึงจุดปลดปล่อยสารระเหยที่ประมาณ 200-500 องศาเซลเซียส ทำให้สารระเหยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแทรกออกมาในสถานะแก๊สและปกคลุมรอบอนุภาคเชื้อเพลิงซึ่งทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะสิ้นสุดที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส โดยความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในกระบวนการนี้

3) กระบวนการเผาไหม้ถ่านชาร์ (Char combustion)

กระบวนการนี้เป็นการเผาไหม้ในส่วนขององค์ประกอบ (Element) ที่ติดไฟยาก ดังนั้นองค์ประกอบเหล่านี้จะออกมาพร้อมกับขี้เถ้า เนื่องจากในสถานะที่เกิดการลุกไหม้แต่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด รวมไปถึงส่วนที่ไม่สามารถลุกไหม้ได้ และออกมาพร้อมกับขี้เถ้า [15]

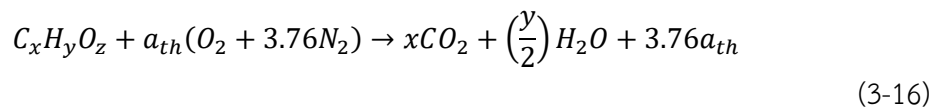
สโตยชิโอเมตรี (Stoichiometry)

สมการทางเคมีของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบ C_xH_y ด้วยอากาศตามทฤษฎีสามารถเขียนสมการได้เป็น : [16]



$$a = x + \frac{y}{4}$$

สำหรับเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วย $C_xH_yO_z$ สมการทางเคมีสามารถเขียนเป็น :



$$a = x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}$$

3.2.4 ลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งของระบบสโตกเกอร์

ระบบสโตกเกอร์ (Stoker) เป็นระบบที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยใช้แรงกล การเผาไหม้เกิดขึ้นบนตะแกรง (Grate) เป็นพื้นที่รองรับเชื้อเพลิง ลักษณะของระบบสโตกเกอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิง คือ

- ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนมาจากทางด้านบนของตะแกรง (Overfeed Stoker)
- ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนมาจากทางด้านล่างของตะแกรง (Underfeed Stoker)

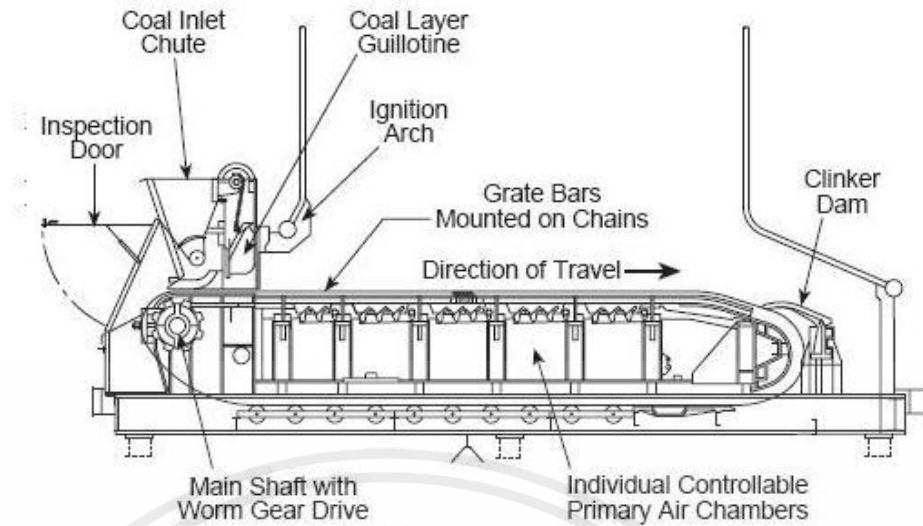
สำหรับหม้อน้ำที่งานวิจัยนี้ศึกษามีห้องเผาไหม้ที่ใช้ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนมาจากทางด้านบนของตะแกรง เชื้อเพลิงจะถูกป้อนจากด้านบนเหนือตะแกรงและตกลงบนด้านบนสุดของเบดเชื้อเพลิงของตะแกรง ในการเผาไหม้สามารถแบ่งเบดเชื้อเพลิงออกได้เป็นบริเวณที่แตกต่างกันตามความสูงนับจากด้านบนสู่ด้านล่างได้ดังนี้

1. ชั้นของเชื้อเพลิงใหม่
2. ชั้นเชื้อเพลิงที่ถูกไล่ความชื้น (Drying)
3. ชั้นเชื้อเพลิงที่ถูกขับสารระเหย (Devolatilization)
4. ชั้นที่มีออกซิเจน (O_2) เหลืออยู่น้อยและเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิว ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แปลงสภาพไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (Char Reduction)
5. ชั้นที่ลุกติดไฟ (Incandescent coke) เป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Char Oxidation)
6. ชั้นของเถ้า

สำหรับระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนมาจากทางด้านบนของตะแกรง สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. สโตกเกอร์แบบตะแกรงเลื่อน (Travelling grate Stoker)

สโตกเกอร์แบบตะแกรงเลื่อนประกอบด้วยแผ่นเหล็กหล่อที่เชื่อมติดกันเป็นสายพานมีลักษณะเป็นสายพานตีนตะขาบ ซึ่งจะพาเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ไปภายในห้องเผาไหม้ด้วยการขับเคลื่อนของเฟืองสองตัว

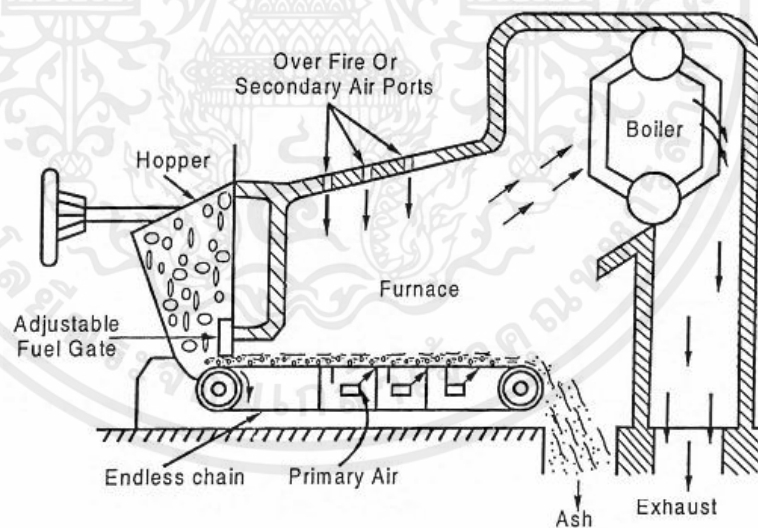


รูปที่ 3.6 สโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน

(<https://boilersinfo.com/stoker-fired-boiler-types-of-stokers/>)

2. สโตกเกอร์แบบตะกรับโซ่ (Chain grate Stoker)

สโตกเกอร์แบบตะกรับโซ่มีลักษณะเหมือนตะกรับเลื่อน แตกต่างกันว่าตะกรับโซ่ประกอบด้วย ก้านต่อเหล็กหล่อเชื่อมกันด้วยหมุดจนเป็นสะพานโซ่



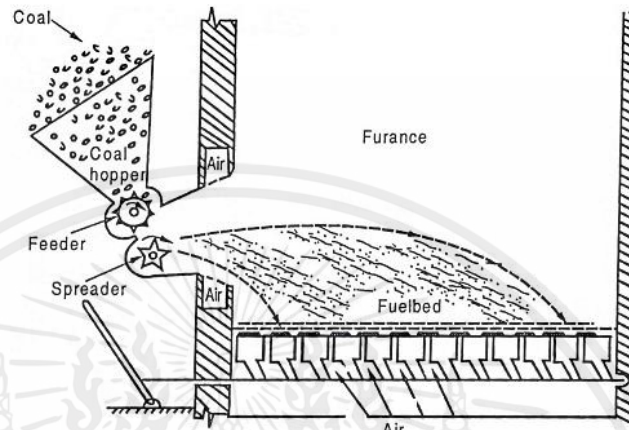
รูปที่ 3.7 สโตกเกอร์แบบตะกรับโซ่

(<https://www.eeeguide.com/overfeed-stoker-and-underfeed-stoker/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สโตกเกอร์แบบมีตัวกระจายเชื้อเพลิง (Spreader Stoker)

ลักษณะของสโตกเกอร์แบบมีตัวกระจายเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงแข็งจะถูกลำเลียงออกจากถังพักโดยโรตารี จากนั้นจะถูกตัวกระจายเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่มีใบกวักติดตั้งตามแนวรัศมีคล้ายใบพัด กระจายเชื้อเพลิงลงบนตะแกรง

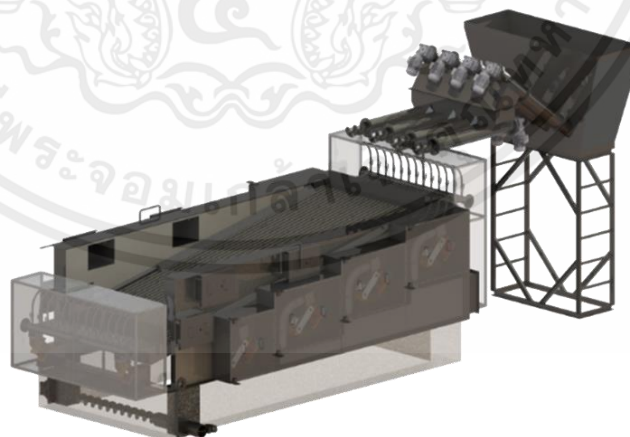


รูปที่ 3.8 สโตกเกอร์แบบมีตัวกระจายเชื้อเพลิง

(<https://www.eeeguide.com/overfeed-stoker-and-underfeed-stoker/>)

4. สโตกเกอร์แบบตะแกรงสั่น (Vibrating grate Stoker)

สโตกเกอร์แบบตะแกรงสั่นถูกจัดวางในแนวลาดเอียง มีลักษณะเป็นแผงท่อน้ำโดยมีครีบกั้นกลางระหว่างท่อและถูกรองรับด้วยชุดสปริง ตะแกรงจะถูกเขย่าด้วยตัวสั่นคอยส่งเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยใช้สกรูลำเลียงหรือลมพัดเข้าไป [16]



รูปที่ 3.9 สโตกเกอร์แบบตะแกรงสั่น

(<http://en.akkaya.com.tr/urun/water-cooled-vibrating-grate-system-wcvg/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

การจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาเผาในหม้อน้ำนั้นประกอบไปด้วยสมการจำนวนมาก ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง สมการการไหลปั่นป่วน สมการการแผ่รังสี สมการการกระจายตัวของอนุภาค สมการความไม่ต่อเนื่อง

3.3.1 สมการความต่อเนื่องและโมเมนตัม

สมการความต่อเนื่องและโมเมนตัม เป็นหนึ่งในสมการหลักที่ใช้ในการจำลองการไหล โดยการไหลที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน จะใช้สมการพลังงาน ส่วนการจำลองที่มีการผสมกันของสปีชีส์ จะใช้สมการอนุรักษ์สปีชีส์ และเมื่อมีการไหลแบบปั่นป่วนจะใช้สมการโอนถ่าย

สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_p \quad (3-17)$$

โดยที่ S_p คือ มวลที่ถูกถ่ายโอนจากเฟสอนุภาคขนาดเล็กไปเป็นเฟสแก๊ส คำนวณได้จาก $S_p = \sum_{i=1}^{N_p} \frac{dm_p}{dt} \cdot \frac{1}{V}$ เมื่อ N_p คือจำนวนของอนุภาคในเซลล์, $\frac{dm_p}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยมวลเนื่องจากกระบวนการทำให้แห้ง การปลดปล่อยสารระเหย และการเผาไหม้ถ่านชาร์ และ V คือปริมาตรของเซลล์

สมการการถ่ายโอนโมเมนตัมของเฟสแก๊ส

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left\{ \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right\} \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho u'_i u'_j) - S_{fp} + S_{pm,k} \quad (3-18)$$

โดยที่ S_{fp} คือ แรงฉุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความต่างของความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเฟสแก๊สและอนุภาค คำนวณได้จาก $S_{fp} = \rho_p F_d (\bar{u} - \bar{u}_p)$

$S_{pm,k}$ คือ โมเมนตัมของบริเวณตัวกลางรูพรุนที่ k^{th}

- $\rho u'_i u'_j$ คือ Reynolds stress ประมาณค่าโดยใช้ Boussinesq model

สมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i \cdot (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\lambda_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + S_h + S_{h,pm,k} \quad (3-19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ S_h คือ พลังงานที่มาจากแหล่งกักเก็บต่างๆ เช่น การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนและการแผ่รังสีเข้าและออกจากอนุภาคของเชื้อเพลิงและพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเฟสแก๊ส

$S_{h,pm,k}$ คือ พลังงานในบริเวณตัวกลางที่เป็นรูปพรุนที่ k^{th}

3.3.2 แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Model)

สมการนาเวียร์-สโตกส์เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ของของไหลได้ จึงมีการนำมาประยุกต์สำหรับการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยการศึกษาที่ใช้แบบจำลอง $k - \epsilon$ ในการศึกษา

แบบจำลอง $k - \epsilon$ ชนิดมาตรฐาน

Turbulence kinetic energy, k

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3-20)$$

Rate of dissipation, ϵ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3-21)$$

โดยที่

G_k คือ ค่าการก่อกำเนิดพลังงานจลน์ระหว่างความชันของความเร็วเฉลี่ย

G_b คือ ค่าการก่อกำเนิดพลังงานจลน์ระหว่างแรงลอยตัว

Y_M คือ ค่าการมีสนับสนุนของความผันผวนในการขยายตัวบนความปั่นป่วนแบบอัดตัวได้ต่ออัตราการกระจายตัวโดยรวม

$C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{3\epsilon}$ คือ ค่าคงที่เท่ากับ 1.44 และ 1.92 ตามลำดับ สำหรับ $C_{3\epsilon}$ ไม่ได้ระบุค่า

σ_k และ σ_ϵ คือ ค่าตัวเลข Prandtl ของ k และ ϵ ที่มีค่าเท่ากับ 1.0 และ 1.3 ตามลำดับ

S_k และ S_ϵ คือ ค่าเทอมของการก่อกำเนิด

3.3.3 แบบจำลองการแผ่รังสี (Radiation Model)

แบบจำลองการแผ่รังสีที่ได้รับความนิยมมีจำนวน 5 แบบ สำหรับการจำลอง ได้แก่

- Discrete Transfer Radiation Model (DTRM)
- P-1 Radiation Model
- Rosseland Radiation Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Surface-to-Surface (S2S) Radiation Model
- Discrete Ordinates (DO) Radiation Model

โดยในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองการแผ่รังสี Discrete Ordinates (DO)

แบบจำลองการแผ่รังสี Discrete Ordinates (DO)

การแผ่รังสีนั้นจะมีปริมาณความร้อนที่อนุภาคแผ่ออกมาสู่อนุภาคตัวรับ ความร้อนที่แผ่ออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับมุมที่แผ่ออกมาจากวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและความถี่ เมื่อรังสีแผ่ไปถึงอนุภาคตัวรับ ความร้อนที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบและการดูดซับรังสี ที่มีค่าเปลี่ยนไปตามรังสีรวมไปถึงระยะห่างระหว่างอนุภาค

แบบจำลองการแผ่รังสี Discrete Ordinates (DO) จะแก้สมการการถ่ายโอนรังสี radiative transfer equation (RTE) สำหรับจำนวนจำกัดของมุมต้น ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเกี่ยวข้องกับเวกเตอร์ในระบบพิกัดคาที่เขียน (x,y,z)

แบบจำลอง DO พิจารณาสมการการถ่ายโอนการแผ่รังสี (RTE) ในทิศทาง \vec{S} เป็นสมการสนาม ดังนั้นสมการจึงเขียนได้เป็น :

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s})\vec{s}) + (a + \sigma_s)I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}')\Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Phi \quad (3-22)$$

3.3.4 Discrete Phase Models

เป็นเครื่องมือสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการจำลอง Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่แยกจากกัน เช่น หยด หรืออนุภาคของแข็งในการไหลของของไหล

การถ่ายโอนของอนุภาค (Particle transport)

การเคลื่อนที่ของอนุภาคสามารถเขียนสมการได้โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน :

$$\frac{d\vec{u}_p}{dt} = F_D(\vec{u} - \vec{u}_p) + \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} \quad (3-23)$$

แรงต้านของอนุภาค (Particle drag model)

แรงต้านของอนุภาคคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้ :

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re_d}{\rho_p d_p^2} \quad (3-24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย CD คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง Haider และ Levenspiel สำหรับอนุภาคที่ไม่ใช่ทรงกลม เขียนเป็นสมการดังนี้

$$C_D = \frac{24}{Re_{sphere}} (1 + b_1 Re_{sphere}^{b_2}) + \frac{b_3 Re_{sphere}}{b_4 + Re_{sphere}}$$

$$b_1 = \exp(2.3288 - 6.4581\phi + 2.4486\phi^2)$$

$$b_2 = 0.0964 + 0.5565\phi \quad (3-25)$$

$$b_3 = \exp(4.905 - 13.8944\phi + 18.422\phi^2 - 10.2599\phi^3)$$

$$b_4 = \exp(1.4681 + 12.2584\phi - 20.7322\phi^2 + 15.8855\phi^3)$$

โดยที่ตัวประกอบรูปร่าง (shape factor) กำหนดเป็น $\phi = s/S$ โดยที่ s เป็นพื้นที่ผิวของอนุภาคขานอ้อย และ S คือพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากัน

3.3.5 แบบจำลองการถ่ายโอนสปีชีส์ (Modeling Species Transport)

แบบจำลองนี้สามารถคาดการณ์การถ่ายโอนทางเคมี โดยนำสมการอนุรักษ์มาใช้อธิบายด้วยการพา การแพร่ และแหล่งปฏิกิริยาของแต่ละสปีชีส์

Volumetric Reactions

การจำลองที่เกิดขึ้นใน volumetric reactions จะทำการจำลอง mass fraction ของแต่ละสปีชีส์ ด้วยการแก้ไขสมการการพาความร้อนและการแพร่สปีชีส์ดังนี้

$$b_2 = \frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (3-26)$$

โดยที่

R_i คือ อัตราการผลิตสปีชีส์สุทธิ

S_i คือ อัตราการสร้าง

\vec{J}_i คือ การแพร่กระจายของสปีชีส์

Eddy-Dissipation Model

การเผาไหม้เชื้อเพลิงอยู่ภายใต้ความปั่นป่วน ไม่ว่าจะเป็นการเผาไหม้แบบผสมก่อนหรือไม่ผสมก่อนก็ตาม สำหรับแบบผสมก่อนสารตั้งต้นที่มีอุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นจากการที่นำสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงมาช่วยทำปฏิกิริยา ส่วนแบบไม่ผสมก่อนเชื้อเพลิงและอากาศจะทำปฏิกิริยากันในบริเวณการไหลปั่นป่วน ซึ่งในการจำลองนี้ อัตราการเกิดของผลิตภัณฑ์สุทธิจะแสดงโดยสมการ [17]

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\epsilon \sum_p Y_p}{k \sum_j v''_{j,r} M_{w,j}} \quad (3-27)$$

เมื่อ

Y_p คือ สัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์

Y_p คือ สัดส่วนมวลของสารตั้งต้น

A คือ ค่าคงที่เท่ากับ 4

B คือ ค่าคงที่เท่ากับ 5

3.3.6 แบบจำลองการเผาไหม้ของอนุภาค

แบบจำลอง single kinetic rate

แบบจำลอง single kinetic rate มีสมมติฐานว่าเป็นอัตราการเกิดการเปลี่ยนแปลงอันดับแรกที่สูงอยู่กับปริมาณของสารระเหยที่เหลืออยู่ในอนุภาคสามารถแสดงเป็น :

$$-\frac{dm_p}{dt} = k[m_p - (1 - f_{v,0})(1 - f_{w,0})m_{p,0}] \quad (3-28)$$

โดยที่

m_p คือ มวลอนุภาค (kg)

$f_{v,0}$ คือ mass fraction ของสารระเหยในอนุภาค

$f_{w,0}$ คือ mass fraction ของความชื้น

$m_{p,0}$ คือ มวลอนุภาคเริ่มต้น (kg)

k คือ ค่าอัตราจลนพลศาสตร์ (s^{-1})

ในส่วนของค่า kinetic rate (k) สามารถคำนวณได้ในสมการนี้

$$k = A e^{-\left(\frac{E_1}{RT}\right)} \quad (3-29)$$

การถ่ายเทความร้อนไปยังอนุภาคระหว่างกระบวนการปลดปล่อยสารระเหย รวมถึงมีการพาความร้อนและการแผ่รังสีและการนำความร้อนมาใช้ในการระเหยภายในเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = hA_p(T_\infty - T_p) + A_p \varepsilon_p \sigma (\theta_R^4 - T_p^4) \quad (3-30)$$

แบบจำลอง Kinetic/Diffusion Surface Reaction Rate

อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลอนุภาคในช่วงการเผาไหม้ถ่านชาร์เขียนสมการได้เป็น :

$$\frac{dm_p}{dt} = -A_p p_{ox} \frac{D_0 \mathfrak{R}}{D_0 + \mathfrak{R}} \quad (3-31)$$

โดยที่

A_p คือ พื้นที่ผิว (m^2)

p_{ox} คือ ความดันย่อย (Pa)

D_0 คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของ O_2 (cm^2/s)

\mathfrak{R} คือ อัตราจลนพลศาสตร์

ซึ่งค่า D_0 จะหาได้จากสมการที่ 3-19

$$D_0 = C_1 \frac{[(T_p + T_\infty)/2]^{0.75}}{d_p} \quad (3-32)$$

โดยที่

T_p คือ อุณหภูมิของอนุภาค (K)

T_∞ คือ อุณหภูมิของบรรยากาศ (K)

d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m)

และ \mathfrak{R} หาได้จากสมการที่ 3-20

$$\mathfrak{R} = C_2 e^{-(E_2/RT_p)} \quad (3-33)$$

3.4 Rosin rammler distribution

วิธีการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรซินแรมเลอร์ เป็นวิธีการนำเสนอการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เป็นวิธีการที่ถูกพบโดยFréchet นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนแลนด์ ในปี1955 Waloddi Weibull ที่ได้ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติเข้ามาช่วยในการอธิบายสมการของ Fréchet ในปี 1933 Rosin และ Rammler ได้นำมาใช้ในการอธิบายการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ซึ่งแบ่งช่วงขนาดของอนุภาคออกเป็นช่วงขนาดที่ไม่ต่อเนื่องด้วยการใช้ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค ที่นำมาใช้ในการคำนวณร่วมกับmass fractionของอนุภาคที่เล็กกว่าขนาดของอนุภาคที่กำลังเปรียบเทียบ โดย

$$Y_d = e^{-(d/\bar{d})^n} \quad (3-34)$$

เมื่อ

Y_d คือ สัดส่วนมวลของอนุภาคที่เล็กกว่าขนาดของอนุภาคที่กำลังเปรียบเทียบ

d คือ ขนาดอนุภาคที่กำลังพิจารณา

\bar{d} คือ ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย

n คือ Spread parameter

บทที่ 4

การออกแบบการทดลอง

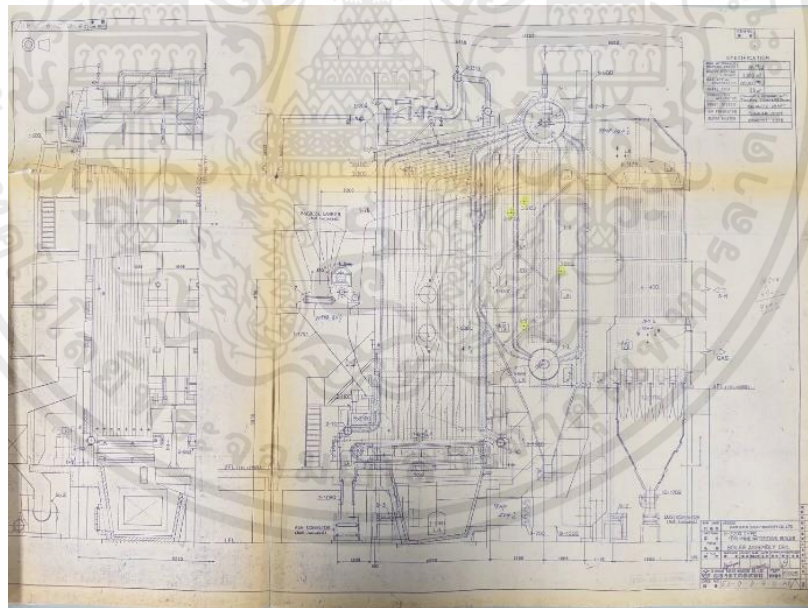
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอถึงรายละเอียดการออกแบบแบบจำลอง ประกอบไปด้วยหัวข้อ โดเมนการจำลอง, เมช, ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการจำลอง และการคำนวณโดยอ้างอิงทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ สมการการเผาไหม้ อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ เพื่อแสดงรายละเอียดและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

4.2 การจำลอง

4.2.1 โดเมนการจำลอง

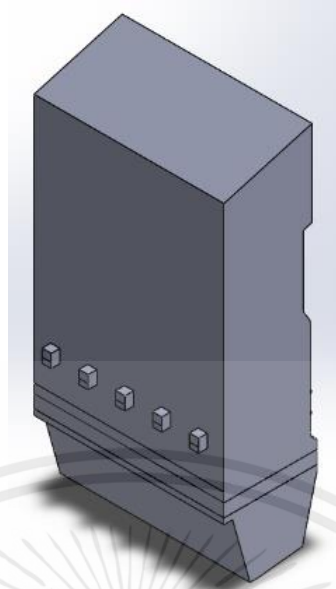
แบบจำลองหม้อน้ำที่ใช้ในการทดลองจะอ้างอิงจากแบบหม้อน้ำยี่ห้อ Yoshimine ขนาด 80 TPH ของบริษัท น้ำตาลขอนแก่น จำกัด (มหาชน) (KSL) ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบหม้อน้ำยี่ห้อ Yoshimine ขนาด 80 TPH

แบบจำลอง 3 มิติถูกสร้างผ่านโปรแกรม SOLIDWORKS โดยงานวิจัยนี้มุ่งหวังจำลองเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงขานอ้อย(และใบอ้อย)ของหม้อน้ำ จึงจัดทำโดเมนการจำลองเฉพาะส่วนห้องเผาไหม้ ก่อนไอเสียจะเข้าสู่ท่อไอน้ำยิ่งยวด แสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

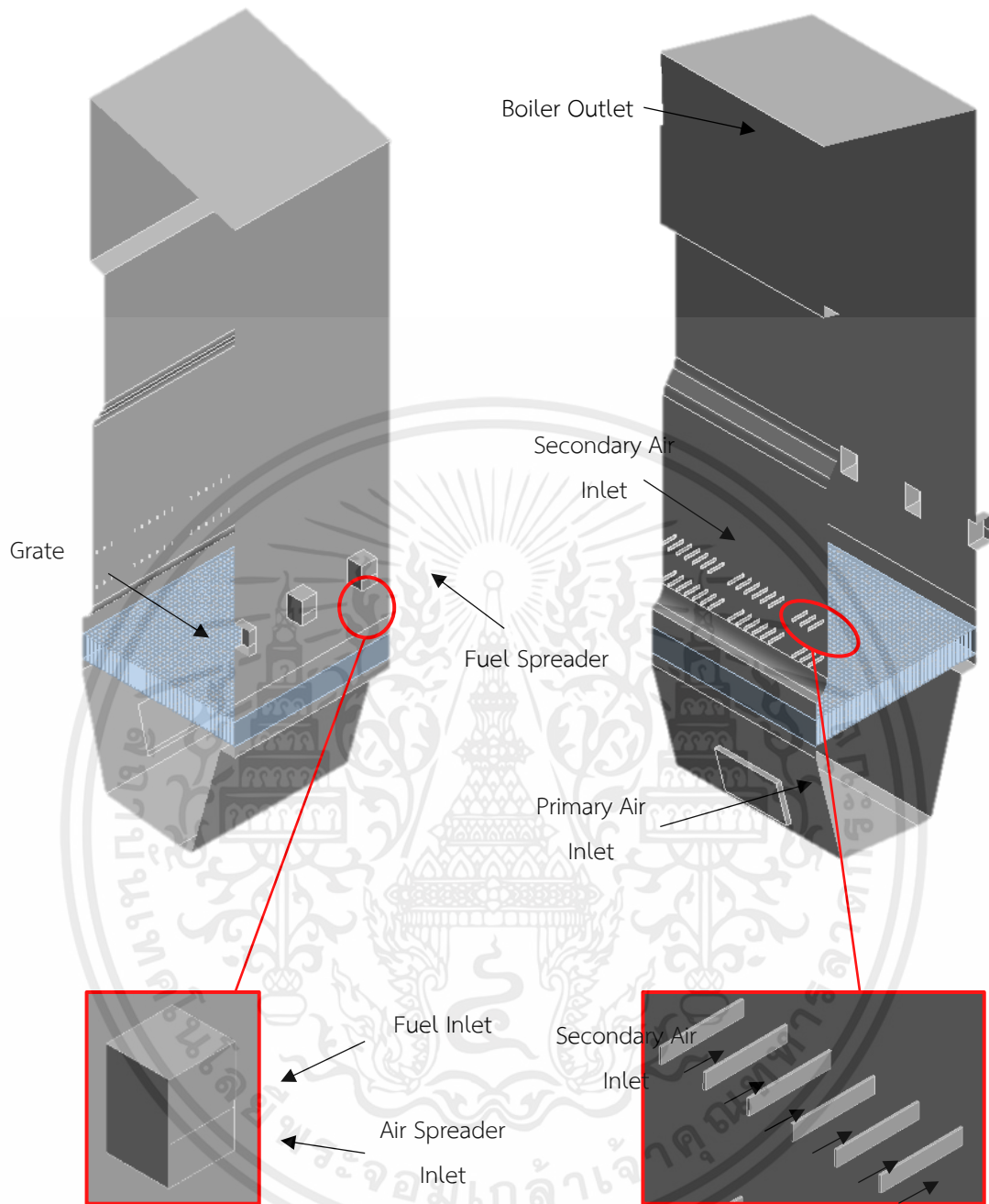


รูปที่ 4.2 แบบจำลองหม้อน้ำ



รูปที่ 4.3 มุมมองของหม้อน้ำด้านข้าง ด้านหน้า และ ด้านหลัง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 มุมมองของหม้อน้ำด้านข้าง ด้านหน้า และ ด้านหลัง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

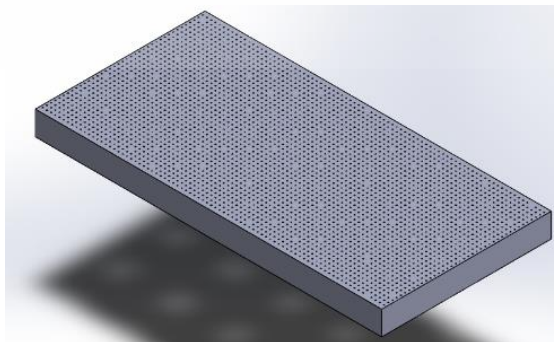


รูปที่ 4.5 ภาพตะกรับในหม้อน้ำ

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าตะกรับมีลักษณะเป็นรูขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งส่งผลทำให้จำนวนเมชมาก ทางทีมผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองบริเวณตะกรับ 2 แบบ ได้แก่ ตะกรับแบบวัสดุพรุน (porous) และ ตะกรับแบบเจาะรู (piercing) โดยในการสร้างเมช จำนวนเมชของตะกรับวัสดุพรุนจะมีจำนวนน้อยกว่าตะกรับแบบเจาะรูมาก ซึ่งจะสามารถลดเวลาในการคำนวณได้ จึงได้มีการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองแบบ



รูปที่ 4.6 ตะกรับชนิดวัสดุพรุน

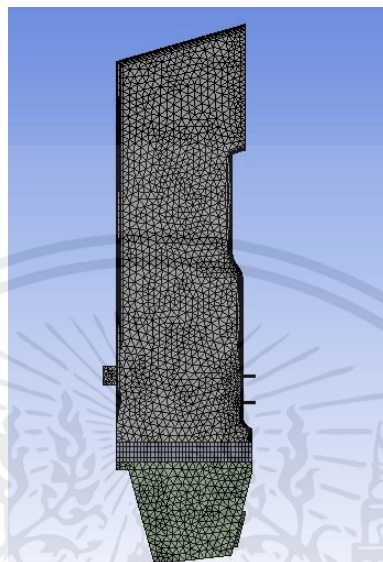


รูปที่ 4.7 ตะกรับชนิดเจาะรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เมช

หลังจากทำแบบจำลองสามมิติขึ้นมาในโปรแกรม SOLIDWORKS จะทำการนำเข้าแบบจำลองเข้ามาในโปรแกรม Ansys fluent เพื่อทำการสร้างเมช ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการสร้างเมชของแบบจำลอง

มีรายละเอียดในการเมชเป็นดังนี้

1. บริเวณ inlet ขนาด elements 100 mm
2. บริเวณ primary air ขนาด elements 100 mm
3. บริเวณ grate ขนาด elements 100 mm
4. บริเวณ outlet ขนาด elements 150 mm
5. บริเวณ overall ขนาด elements 200 mm
6. Growth rate 1.2

โดยที่แบบจำลองที่มีตะแกรงแบบรูพรุนจะมีจำนวน elements รวมประมาณ 460,000 ในขณะที่แบบจำลองที่มีตะแกรงเป็นแบบเจาะรูจะมีจำนวน elements รวมประมาณ 1.1 ล้าน

4.2.3 การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง

รายละเอียดการกำหนดเงื่อนไขการจำลองประกอบไปด้วย models, material, cell zone conditions, boundary conditions, method และ controls

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลการตั้งค่าส่วน Models

Models			Reference
Multiphase	Off		[1]
Energy	On		
Viscous	Realizable k-e		[1]
Radiation	Discrete Ordinate (DO)		[1]
Heat Exchange	Off		
Species	Species Transport		[1]
	Volumetric		[1]
	Eddy-Dissipation		[1]
Discrete Phase	DPM Iteration Interval	20	[1]
	Max. Number of step	50000	
	Length Scale (m)	0.001	

Injection

ในส่วนของการนำเชื้อเพลิงขานอ้อยเข้าสู่โดเมนการคำนวณจะนำข้อมูล size distribution ของขานอ้อย ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งนำมาใช้ในส่วนของคุณสมบัติเชื้อเพลิง

Table 4
Fuel particle size distribution data.

Size distribution parameter	Value
Mean particle diameter	1.43 mm
Maximum particle diameter	9.146 mm
Minimum particle diameter	0.189 mm
Spread parameter	0.8379

รูปที่ 4.9 a Rosin-Rammler size distribution for typical Southern-African sugarcane diffuser Bagasse [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาจากช่องปล่อยเชื้อเพลิง สามารถคำนวณได้จากสมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

โดยความสูงตั้งแต่ตะแกรงจนถึงช่องปล่อยเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 1.915 m ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s² และมวลมีค่าคงที่ จะได้

$$\frac{1}{2}v^2 = (9.81) \times (1.915)$$

คำนวณหาความเร็วของเชื้อเพลิงได้เท่ากับ 6.13 m/s²

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง คำนวณจากสมการประสิทธิภาพของหม้อน้ำ ซึ่งหม้อน้ำผลิตไอน้ำได้ 80 TPH แต่จากการตรวจวัด พบว่าหม้อน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้จริงเท่ากับ 71.93 TPH โดยที่มีการสูญเสียความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 17.9 % ในทางอุดมคติ ค่าประสิทธิภาพทางตรงแล้วทางอ้อมของหม้อน้ำจะมีค่าเท่ากัน สามารถคำนวณหาค่าอัตราการไหลได้จากสมการ

$$\eta_{direct} = \eta_{indirect}$$

$$\frac{m_w(h_{steam} - h_{fw})}{m_f(HV)} \cdot 100 = (1 - Loss) \cdot 100$$

โดยทราบว่า อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 71.93 TPH หรือเท่ากับ 19.98 kg/s ค่าเอนทาลปีของไอน้ำเท่ากับ 3,141 kJ/kg ค่าเอนทาลปีของน้ำป้อนเท่ากับ 457.13 kJ/kg ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 6,269.726 kJ/kg และการสูญเสียความร้อนของหม้อน้ำเท่ากับ 17.9 % หรือ 0.179

$$\frac{19.98(3141 - 457.13)}{m_f(6269.726)} \cdot 100 = (1 - 0.179) \cdot 100$$

คำนวณหาอัตราการไหลของเชื้อเพลิงได้เท่ากับ 10.42 kg/s

แบบจำลองทางกายภาพของเชื้อเพลิง เป็น nonspherical โดยที่ค่า shape factor เป็น 0.7 โดยอ้างอิงจาก [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ Coal Calculator ทางผู้จัดทำได้นำค่าผลการทดสอบและวิเคราะห์กากอ้อยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ดังรูปที่ 4.9 มาคำนวณหาค่า Dry Ash Free (DAF) ดังรูปที่ 4.10

คุณสมบัติ	ผลการวัด	ผลการวิเคราะห์
ความชื้น, %	61.87	-
สารรวม, %	30.67	80.66
คาร์บอน, %	6.99	13.07
ไฮโดรเจน, %	2.47	4.49
ไนโตรเจน, %	9.98	6.78
ออกซิเจน, %	18.35	48.14
ไนโตรเจน, %	0.02	0.04
ออกซิเจน, %	70.08	39.55
ซัลเฟอร์, %	0.00	0.00
ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/กก.)	1,620	4,260
ค่าความร้อนต่ำ (กิโลแคลอรี/กก.)	1,490	3,930

รูปที่ 4.10 รายงานผลการตรวจสอบและวิเคราะห์กากอ้อย

Properties	AR	DB	DAF
Moisture, %	61.87	0	0
Ash, %	2.47	6.49	0
Hydrogen, %	9.08	5.78	6.181157
Carbon, %	18.35	48.14	51.48113
Nitrogen, %	0.02	0.04	0.042776
Oxygen, %	70.08	39.55	42.29494
Sum	100	100	100

Higher heating value (kcal/kg)	1624.338	4260
Lower heating value (kcal/kg)	1498.509	3930

Higher heating value (kJ/kg)	6796.23	17823.84
Lower heating value (kJ/kg)	6269.762	16443.12

รูปที่ 4.11 การคำนวณ Dry Ash Free (DAF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า material ในส่วน Fluid และ Solid

Material				Ref.
Fluid	Air			
Solid	Aluminum	Density (kg/m ³)	2719	(Brick properties)
		Cp (specific Heat) (j/kg-k)	871	
		Thermal Conduct (w/m-k)	1	
Solid	Ceramic	Density (kg/m ³)	2739	(Ceramic properties)
		Cp (specific Heat) (j/kg-k)	850	
		Thermal Conduct (w/m-k)	180	
Solid	Water- wall	Density (kg/m ³)	2719	[1]
		Cp (specific Heat) (j/kg-k)	871	[1]
		Thermal Conduct (w/m-k)	47	[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า material ในส่วน Mixture

Material-mixture						Ref.
coal- volatiles-air	coal- volatiles	Standard State Enthalpy (J/kgmol)	-1.169E+08			
Combusting Particle	Biomass	Density (kg/m3)	911.5			[1]
		Cp (specific Heat) (J/kg-k)	1200			[1]
		Vaporization Temperature (c)	126.85			[1]
		Swelling Coefficient	0.56			[1]
		Heat of Reaction for Burnout (J/kg)	1.01E+07			[1]
		Devolatilization Model (1/s)	constant	50		[default]
			single-rate	Pre- Exponential Factor	3120000	[1]
				Activation Energy (j/kgmol)	7.40E+07	[1]
		Combustion Model	diffusion- limited			[default]
			kinetics/ diffusion- limited	Mass Diffusion- Limited	1.00E-11	[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material-mixture						Ref.
				Rate Constant		
				Kinetics- Limited Rate Pre- Exponential Factor	6.7	[1]
				Kinetics- Limited Rate Activation Energy (J/kgmol)	1.138E+08	[1]

Cell Zone Conditions

1. กำหนดให้ Cell Zone ของหม้อน้ำเป็น Fluid
2. กำหนดให้ Cell Zone ของตะกรับเป็น Solid และมี Material เป็น Ceramic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า Boundary conditions

Boundary conditions					Ref.
Inlet	Fuel Inlet	Mass Flow Rate (kg/s)	10.42		[Experimental data]
		Flow direction	X	0	
			Y	-1	
			Z	-1	
		Temperature (c)	35		
		DPM	escape		
	Air Spreader Inlet	Mass Flow Rate (kg/s)	10.312		
		Flow direction	X	0	
			Y	-1	
			Z	-1	
		Temperature (c)	224.4		
		Species	o2	0.23	
		DPM	escape		
	Primary Air Inlet	Mass Flow Rate (kg/s)	30.936		
		Flow direction	X	0	
			Y	0	
			Z	1	
		Temperature (c)	224.4		
		Species	o2	0.23	
		DPM	escape		
	Secondary Air Inlet	Mass Flow Rate (kg/s)	10.312		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boundary conditions					Ref.
		Flow direction	X	0	[Experimental data]
			Y	0	
			Z	1	
		Temperature (c)	224.4		
		Species	o2	0.23	
		DPM	escape		
Outlet	Outlet	Pressure (Pa)	-13		
		Prevent Reverse Flow			
Wall	Upper Wall	Heat Flux (w/m2)	0		
		Material	Water-wall		
		DPM	Reflect		
	Ash pit	Heat Flux (w/m2)	0		
		Material	Brick		
		DPM	escape		
	Upper Grate	Temperature (c)	600		
		Material	ceramic		
		DPM	Reflect		
	Lower wall	Heat Flux (w/m2)	0		
		Material	Aluminum		
		DPM	Reflect		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดการตั้งค่า Methods

Methods	A	B
Scheme	Simple	Simple
Gradient	Least Squares Cell Based	Least Squares Cell Based
Pressure	Standard	PRESTO!
Momentum	First Order Upwind	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	First Order Upwind	First Order Upwind
Turbulent Dissipation Rate	First Order Upwind	First Order Upwind
vol	First Order Upwind	Second Order Upwind
o2	First Order Upwind	Second Order Upwind
co2	First Order Upwind	Second Order Upwind
h2o	First Order Upwind	Second Order Upwind
co	First Order Upwind	Second Order Upwind
Energy	First Order Upwind	Second Order Upwind
Discrete Ordinates	First Order Upwind	First Order Upwind

ในช่วงแรกของการคำนวณใช้วิธีการ A เนื่องจากเป็นเป็นวิธีที่ลู่อเข้าได้ง่ายกว่า หลังจากที่ได้ผลคำนวณคงที่จึงเปลี่ยนเป็นวิธีการ B โดยอ้างอิงมาจาก [1]

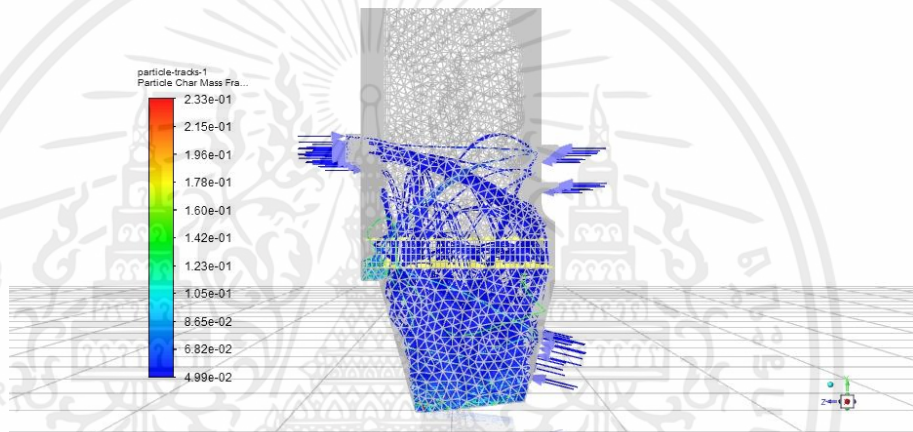
บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การปรับปรุงแบบจำลอง

5.1.1 แบบจำลองวัสดุพูนและแบบเจาะรู

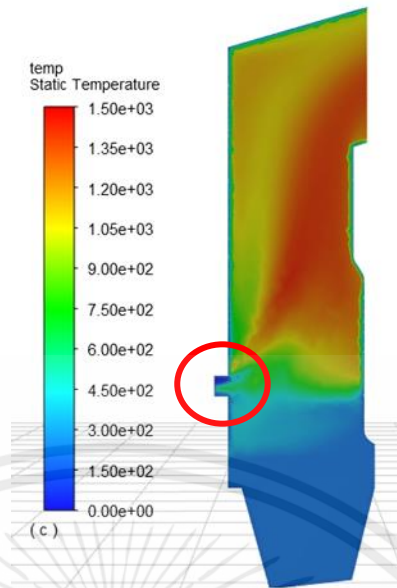
จากผลการทดลองในการคำนวณพบว่า ตะกรับแบบวัสดุพูนมีการทะลุของเชื้อเพลิงลงไปใต้ตะกรับดังรูปที่ 5.1 ซึ่งผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลจากโรงงานซึ่งเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้บนตะกรับ ทางทีมผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลองที่ตะกรับเป็นแบบเจาะรูในการทำการทดลอง



รูปที่ 5.1 การติดตามอนุภาคของแบบจำลองที่มีตะกรับเป็นแบบวัสดุพูน

5.1.2 การปรับ Inlet

จากแบบจำลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าช่อง Fuel inlet มีการยื่นออกจากขอบกำแพงซึ่งส่งผลให้การใส่เชื้อเพลิงมีทิศทางไม่ตรงกับที่กำหนดให้ถูกยิงลงบนตะกรับ เนื่องจากตัวเชื้อเพลิงกระทบกับขอบกำแพงด้านล่างและเกิดการเปลี่ยนทิศทางทำให้เชื้อเพลิงลอยขึ้น สังเกตได้จากรูป 5.2 ทางผู้วิจัยจึงทำการปรับแบบจำลองให้ Fuel inlet และ Spreader inlet ชิดไปกับขอบกำแพง และกำหนดเป็นการปล่อยเชื้อเพลิงออกจากช่องพื้นผิวของหม้อน้ำ ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งหลังจากการปรับในส่วนนี้จะพบว่าเชื้อเพลิงถูกปล่อยลงบนตะกรับดังรูปที่ 5.4

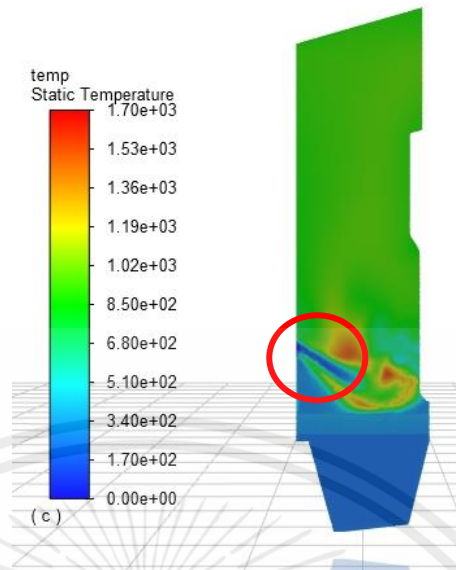


รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาของหม้อน้ำ



รูปที่ 5.3 แสดงแบบจำลองที่ปรับลักษณะของ inlet ทั้งหมด

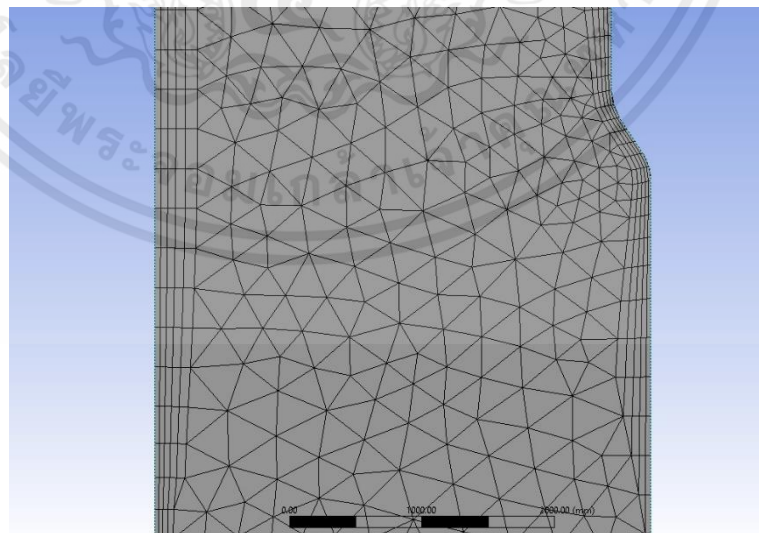
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาของแบบจำลองใหม่

5.1.3 การเพิ่มเลเยอร์ที่ขอบกำแพง

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าที่ขอบของกำแพงหม้อน้ำนั้นอุณหภูมิต่ำอย่างผิดปกติ ทางผู้วิจัยจึงสันนิษฐานว่าเกิดจากการที่สร้างเมชที่ขอบกำแพงนั้นมีความละเอียดไม่เพียงพอจึงใช้วิธีการ Inflation ในการเพิ่มความละเอียดที่ขอบกำแพงหม้อน้ำ ดังรูปที่ 5.5 หลังจากการปรับปรุงในส่วนนี้ อุณหภูมิในส่วนของกำแพงหม้อน้ำมีความเป็นไปที่สอดคล้องกับภายในหม้อน้ำมากขึ้นจากเดิม แสดงดังรูปที่ 5.4

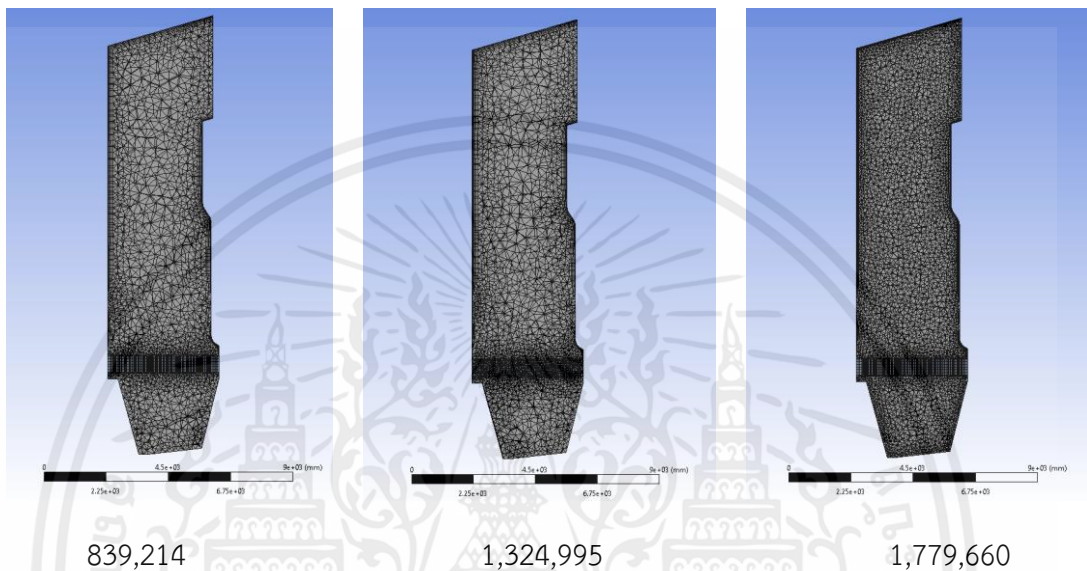


รูปที่ 5.5 แสดงการ Inflation 5 layers ที่ขอบกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของเมช

เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของเมชที่ใช้คำนวณ อุณหภูมิ และการปลดปล่อยไอเสีย เพื่อประเมินจำนวนเมชที่เหมาะสม ให้ผลการจำลองคงที่และไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณ โดยทีมผู้วิจัยได้สร้างเมชขึ้นมา 3 แบบที่มีจำนวนและขนาดของเมชต่างกันเพื่อใช้ในการคำนวณและตรวจสอบความเป็นอิสระของเมชโดยแต่ละแบบมีจำนวนเมชดังนี้



รูปที่ 5.6 ลักษณะและจำนวนเมชของหม้อน้ำ

โดยแบบจำลองที่เมชมีจำนวน 8 แสน มีรายละเอียดในการสร้างเมชเป็น

1. บริเวณ inlet ขนาด elements 100 mm
2. บริเวณ primary air ขนาด elements 100 mm
3. บริเวณ grate ขนาด elements 100 mm
4. บริเวณ outlet ขนาด elements 150 mm
5. บริเวณ overall ขนาด elements 200 mm
6. Growth rate 1.2
7. Inflation 5 layers ในบริเวณขอบกำแพง

แบบจำลองที่เมชมีจำนวน 1.3 ล้าน มีรายละเอียดในการสร้างเมชเป็น

1. บริเวณ inlet ขนาด elements 100 mm
2. บริเวณ primary air ขนาด elements 100 mm
3. บริเวณ grate ขนาด elements 100 mm
4. บริเวณ outlet ขนาด elements 150 mm
5. บริเวณ overall ขนาด elements 200 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Growth rate 1.18

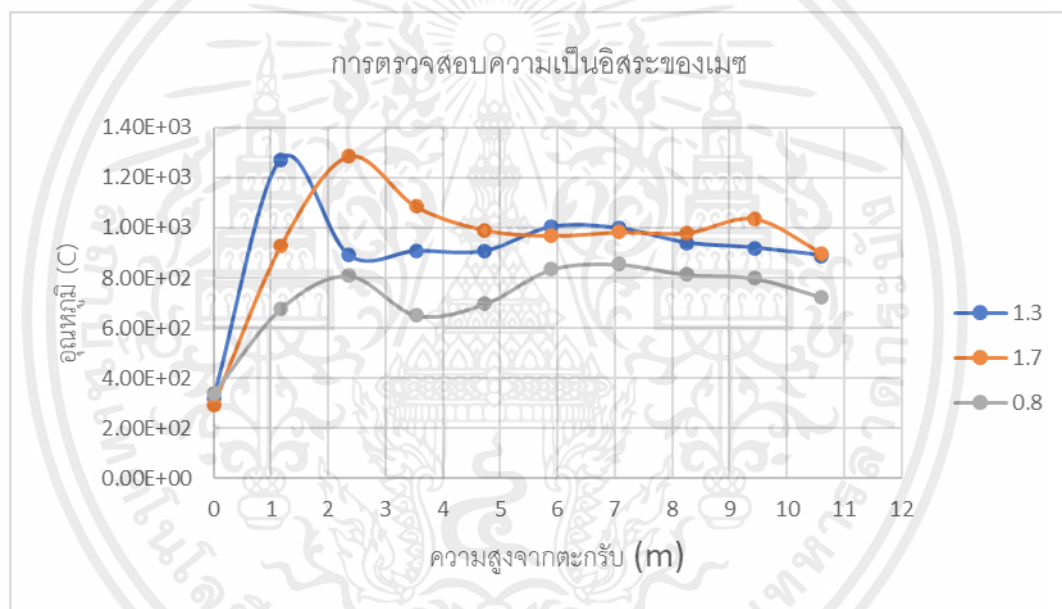
7. Inflation 5 layers ในบริเวณขอบกำแพง

แบบจำลองที่เมซมีจำนวน 1.7 ล้าน มีรายละเอียดในการสร้างเมชเป็น

1. บริเวณ inlet ขนาด elements 100 mm
2. บริเวณ primary air ขนาด elements 100 mm
3. บริเวณ grate ขนาด elements 100 mm
4. บริเวณ outlet ขนาด elements 150 mm
5. บริเวณ overall ขนาด elements 100 mm

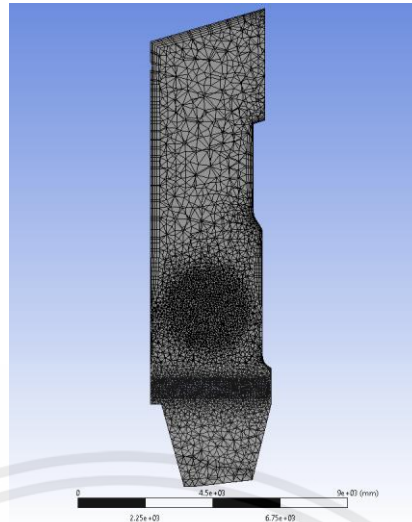
6. Growth rate 1.18

7. Inflation 5 layers ในบริเวณขอบกำแพง



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งในแนวตั้งจากบนตะแกรงถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำ

หลังจากทำการทดลอง จากรูปที่ 5.7 พบว่า กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิ 10 ตำแหน่ง ที่ระยะ 1.179, 2.358 และ 3.537 เมตรเหนือตะแกรงของแบบจำลองที่เป็นจำนวนเมช 1.3 ล้าน มีการคลาดเคลื่อนจากผลทดลองของแบบจำลองอื่นๆ ทางทีมผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างเมชใหม่ โดยที่จำนวนเมชมีจำนวนใกล้เคียง 1.3 ล้าน แต่เพิ่มความละเอียดตรงบริเวณกลางเตาเผาซึ่งเป็นระยะ 1.179, 2.358 และ 3.537 ในกราฟ โดยออกมาเป็นแบบจำลองใหม่ดังรูปที่ 5.8

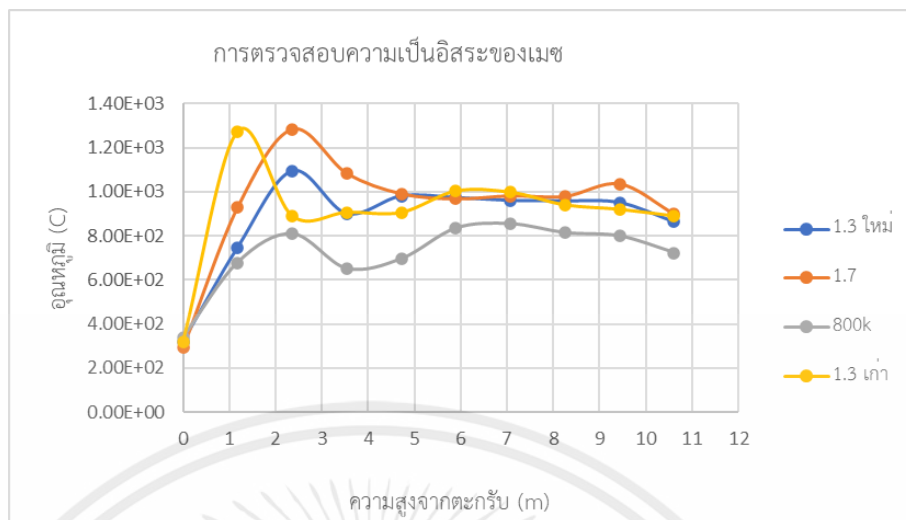


รูปที่ 5.8 แสดงการสร้างเมชใหม่ที่จำนวนเมชเป็น 1324995

โดยรายละเอียดการสร้างเมชใหม่มีดังนี้

1. inlet ขนาด elements 100 mm
2. primary air ขนาด elements 100 mm
3. grate ขนาด elements 100 mm
4. outlet ขนาด elements 150 mm
5. overall ขนาด elements 300 mm
6. Growth rate 1.18
7. Inflation 5 layers
8. Sphere of influence ที่ตำแหน่ง 2,358.11 mm เหนือตะแกรงเป็นจุดกึ่งกลางโดยกำหนดรัศมีเท่ากับ 1,200 mm และมีขนาดเมช 100 mm

เมื่อเปรียบเทียบความละเอียดของเมชทั้งสามกับการกระจายตัวของอนุภาคนิวเคลียสในแนวแกนตั้งที่จุดกึ่งกลางเตาเผาบริเวณเหนือตะแกรงถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำ จะเห็นได้ว่ากราฟของอนุภาคนิวเคลียสที่แบบจำลองที่จำนวนเมช 1.3 ล้าน และ 1.7 ล้าน มีค่าใกล้เคียงกันในโซนด้านบนของเตาเผา แต่ที่กลางเตาที่ระยะ 1.179, 2.358 และ 3.537 เมตรมีความแตกต่างกันดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งในแนวตั้งจากบนตะกรับถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำ

จึงไม่สามารถสรุปผลการตรวจสอบความเป็นอิสระของเมซ เนื่องจากที่จำนวนเมซ 1.7 ล้านอุณหภูมิที่จุดกลางเตามีแนวโน้มที่สูงกว่าแบบจำนวน 1.3 ล้าน ซึ่งทำให้แบบจำลองในตอนนี้ไม่มีขอบเขตที่ชัดเจน และจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองที่มีจำนวนเมซมากขึ้น แต่ด้วยเวลาและทรัพยากรที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่มีจำนวนมากกว่า 1.7 ล้านได้

5.3 การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายของอุณหภูมิในเตาเผา

5.3.1 การปรับค่า Devolatilization

ในการปรับค่า Devolatilization สามารถปรับค่าได้ 2 พารามิเตอร์ คือ Pre-Exponential Factor และ Activation Energy ทั้ง 2 ค่านี้มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยสารระเหย โดยที่เมื่อ Pre-Exponential Factor มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วในการปลดปล่อยสารระเหยจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อีกด้านหนึ่งการลดค่า Activation Energy ทำให้อัตราการปลดปล่อยสารระเหยเร็วขึ้น ส่งผลให้การปรับค่าทั้งสองนี้จำเป็นต้องปรับให้สอดคล้องกันเพื่อความเสถียรในการปลดปล่อยสารระเหย หากปรับเพียงค่าใดค่าหนึ่งจะทำให้ผลของการจำลองเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยการปรับพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่านี้จะสอดคล้องกับสมการที่ 3.28 ซึ่งเป็นสมการปลดปล่อยมวลของอนุภาคระหว่างปลดปล่อยสารระเหย และสมการที่ 3.29 เป็นสมการหาค่า kinetic rate หากค่า kinetic rate มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้การปลดปล่อยสารระเหยได้เร็วขึ้น โดยในการปรับทั้งสองค่านี้สามารถดูได้ดังตารางที่ 5.1 และผลของการจำลองสามารถดูได้ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.10

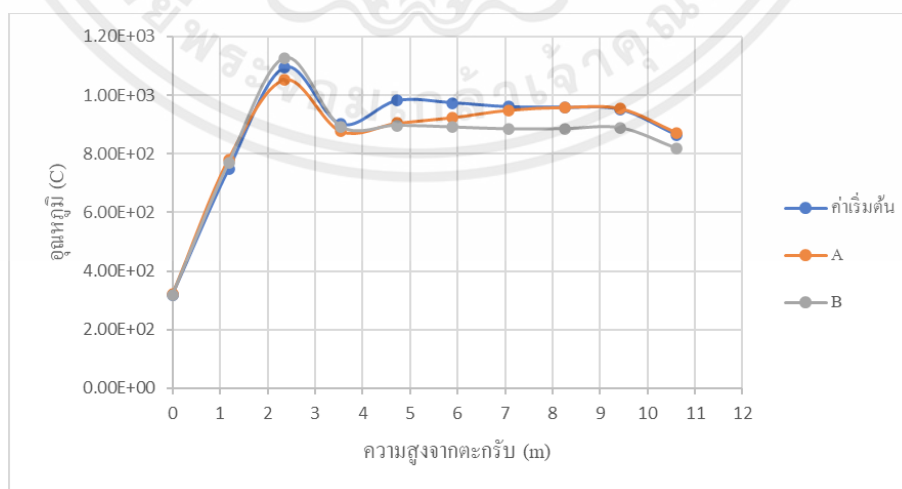
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การปรับค่า Devolatilization

Pre-Exponential Factor			Activation Energy		
Default	A (เพิ่ม 10 เท่า)	B (ลด 10 เท่า)	Default	A (ลด 100 เท่า)	B (เพิ่ม 10 เท่า)
3.12e+06	3.12e+07	3.12e+05	7.4e+07	7.4e+05	7.4e+09

ตารางที่ 5.2 อุณหภูมิตามแนวแกนจากการปรับค่า Devolatilization

Distance(m)	Default	A		B	
		Temp	%Change	Temp	%Change
0	3.19E+02	3.20E+02	0.39	3.19E+02	0.10
1.179	7.47E+02	7.81E+02	4.43	7.68E+02	2.82
2.358	1.09E+03	1.05E+03	3.98	1.13E+03	2.86
3.537	9.01E+02	8.77E+02	2.70	8.93E+02	0.84
4.716	9.81E+02	9.05E+02	8.48	8.97E+02	9.39
5.895	9.74E+02	9.24E+02	5.42	8.91E+02	9.33
7.074	9.60E+02	9.49E+02	1.18	8.84E+02	8.61
8.253	9.58E+02	9.58E+02	0.01	8.85E+02	8.27
9.432	9.51E+02	9.54E+02	0.34	8.88E+02	7.09
10.611	8.63E+02	8.71E+02	0.94	8.17E+02	5.60



รูปที่ 5.10 อุณหภูมิตามแนวแกนในการปรับค่า Devolatilization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่ากระจายตัวของอุณหภูมิในแนวแกนตั้งที่จุดกึ่งกลางเตาเผาบริเวณเหนือตะแกรงถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการปรับค่า Pre-Exponential และค่า Activation Energy ส่งผลต่อความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการปล่อยสารระเหยเท่านั้น ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ ได้มาจากช่วงปฏิกิริยาสลายอนุภาคถ่านชาร์ ในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการศึกษาการปรับค่า Combustion model เพื่อเพิ่มและลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้

5.3.2 การปรับค่า Char Combustion

ในการปรับค่า Char Combustion มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ 3 ค่าคือ Mass Diffusion-Limited Rate, Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor และ Kinetics-Limited Rate Activation Energy ทั้งสามค่านี้มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยพลังงานของถ่านชาร์ โดยทางผู้จัดจะทำการปรับเพียง 2 พารามิเตอร์แรกเท่านั้น คือการปรับค่า Mass Diffusion-Limited Rate และ Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor ซึ่งการปรับ 2 พารามิเตอร์นี้จะมีผลไปในทางเดียวกันคือหากมีค่ามากจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานสูง นั่นคือสามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ได้ และสมการในการหาอัตราการปลดปล่อยพลังงานของถ่านชาร์เป็นไปตามสมการที่ 3.31 ซึ่งเป็นสมการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของอนุภาคในช่วงการเผาไหม้ถ่านชาร์ สมการที่ 3.32 เป็นสมการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซออกซิเจน และสมการที่ 3.33 เป็นสมการหาค่าอัตราจลนพลศาสตร์ โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองค่านี้สามารถดูได้ดังตารางที่ 5.3 และผลของการจำลองสามารถดูได้ดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.11

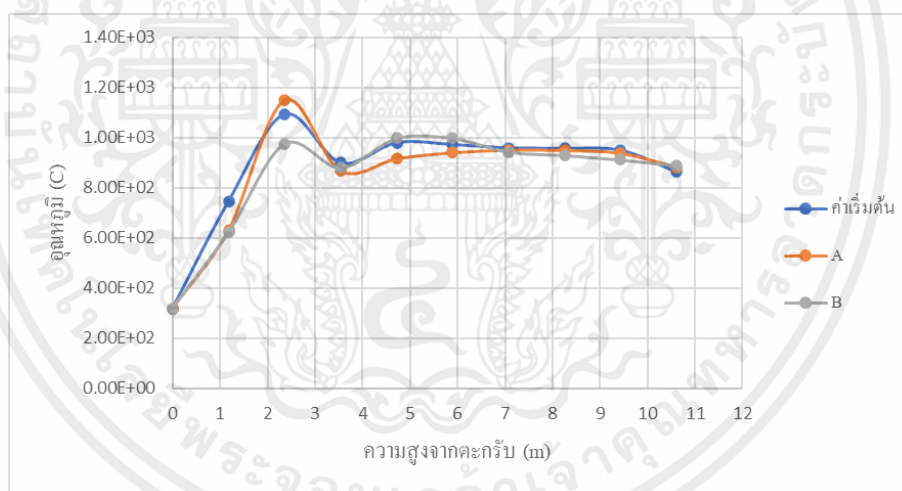
ตารางที่ 5.3 การปรับค่า Char Combustion

Mass Diffusion-Limited Rate			Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor		
Default	A (เพิ่ม 100 เท่า)	B (ลด 100 เท่า)	Default	A (เพิ่ม 100 เท่า)	B (ลด 100 เท่า)
1.00e-11	1.00e-09	1.00e-13	6.7	670	0.067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิตามแนวแกนจากการปรับค่า Char Combustion

Distance(m)	Default	A		B	
		Temp	%Change	Temp	%Change
0	3.19E+02	3.20E+02	0.14	3.18E+02	0.23
1.179	7.47E+02	6.32E+02	18.24	6.23E+02	19.89
2.358	1.09E+03	1.15E+03	4.94	9.77E+02	12.10
3.537	9.01E+02	8.69E+02	3.69	8.81E+02	2.24
4.716	9.81E+02	9.17E+02	6.97	9.99E+02	1.75
5.895	9.74E+02	9.42E+02	3.42	9.98E+02	2.45
7.074	9.60E+02	9.52E+02	0.93	9.44E+02	1.79
8.253	9.58E+02	9.50E+02	0.85	9.30E+02	3.03
9.432	9.51E+02	9.39E+02	1.27	9.12E+02	4.21
10.611	8.63E+02	8.83E+02	2.28	8.89E+02	2.89



รูปที่ 5.11 อุณหภูมิตามแนวแกนในการปรับค่า Char Combustion อุณหภูมิตามแนวแกน

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า Mass Diffusion-Limited Rate และ Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor 100 เท่าตามวิธีการ A ส่งผลให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอยู่บริเวณเหนือตะกรับมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในทางกลับกันการลดค่า Mass Diffusion-Limited Rate และ Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor 100 เท่าตามวิธีการ B ส่งผลให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอยู่บริเวณเหนือตะกรับมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากบริเวณเหนือตะกรับมีอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใหญ่อยู่เป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การปรับค่าพารามิเตอร์ Enthalpy of formation

ในการปรับค่าเอนทัลปีของสารระเหยนั้นหมายความว่า เป็นการเพิ่มหรือลดระยะห่างระหว่างชั้นพลังงานของสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์ หากมีระยะห่างมากพลังงานที่ใช้ก็จะมากตามไปด้วย โดยในการเผาไหม้จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้จะมีค่าเอนทัลปีเป็นลบ ซึ่งในการปรับค่าเอนทัลปีนี้จะเป็นการปรับค่าเอนทัลปีตั้งต้นของสารระเหย มีผลให้ระยะห่างของชั้นพลังงานที่กล่าวไปข้างต้นต่างกัน เพราะค่าพลังงานของตัวผลิตภัณฑ์ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และในทางเดียวกันอุณหภูมิระหว่างปฏิกิริยาก็จะเพิ่มสูงขึ้นหรือลดลงก็จะขึ้นอยู่กับระยะห่างของชั้นพลังงาน โดยกรณีของการจำลองในการศึกษานี้จะจำลองโดยใช้ค่าเอนทัลปีตามตารางที่ 5.5 ซึ่งค่าเริ่มต้นคือ -1.169×10^8 J/kg.mol และผลของการจำลองสามารถดูได้ดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.12

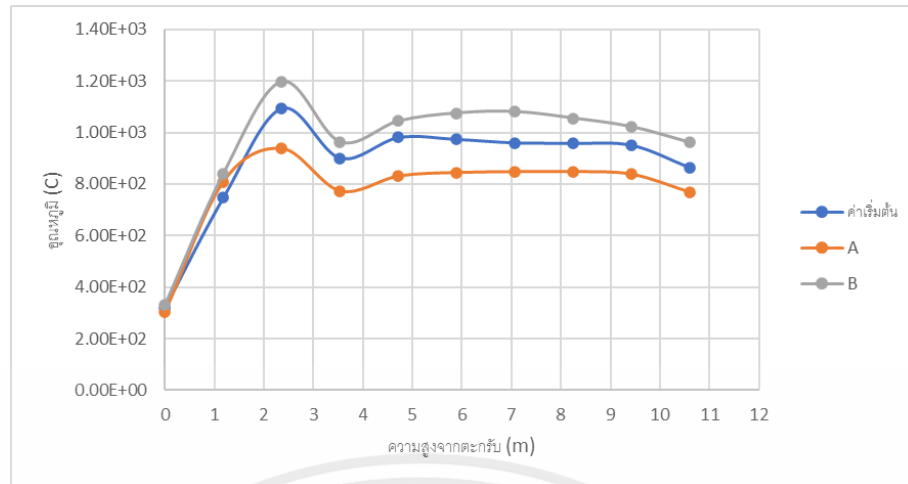
ตารางที่ 5.5 การปรับค่า Enthalpy of formation

Enthalpy of formation		
Default	A (เพิ่ม 2 เท่า)	B (ลด 2 เท่า)
-1.169×10^8	-2.338×10^8	-5.845×10^7

ตารางที่ 5.6 อุณหภูมิตามแนวแกนจากการปรับค่า Enthalpy of formation

Distance(m)	Default	A		B	
		Temp	%Change	Temp	%Change
0	3.19×10^2	3.04×10^2	5.06	3.32×10^2	8.55
1.179	7.47×10^2	8.10×10^2	7.76	8.41×10^2	3.79
2.358	1.09×10^3	9.38×10^2	16.72	1.20×10^3	21.67
3.537	9.01×10^2	7.73×10^2	16.55	9.63×10^2	19.77
4.716	9.81×10^2	8.31×10^2	18.07	1.04×10^3	20.44
5.895	9.74×10^2	8.44×10^2	15.34	1.08×10^3	21.50
7.074	9.60×10^2	8.48×10^2	13.31	1.08×10^3	21.60
8.253	9.58×10^2	8.48×10^2	12.99	1.06×10^3	19.66
9.432	9.51×10^2	8.38×10^2	13.48	1.02×10^3	18.06
10.611	8.63×10^2	7.67×10^2	12.46	9.61×10^2	20.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 อุณหภูมิตามแนวแกนในการปรับค่า Enthalpy of formation

จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าการปรับค่าให้เอนทาลปีติดลบมากขึ้นตามวิธีการ A จะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเพราะมีระยะห่างของระดับพลังงานระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์น้อยลงทำให้ปลดปล่อยพลังงานได้น้อยอุณหภูมิจึงลดลงตาม และในการปรับค่าให้เอนทาลปีติดลบน้อยลงตามวิธีการ B จะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเพราะมีระยะห่างของระดับพลังงานระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มากขึ้นทำให้ปลดปล่อยพลังงานได้มากอุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นตาม

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลอง จะส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ โดยในการทดลองนี้ ได้ทำการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งหมด 3 อย่างได้แก่ 1. Devolatilization 2. Char Combustion และ 3. Enthalpy of formation ซึ่งส่งผลดังนี้

6.1.1 การปรับค่าของแบบจำลอง Devolatilization

ในการปรับค่าของแบบจำลอง Devolatilization พารามิเตอร์ที่ปรับคือ Pre-Exponential Factor และ Activation Energy โดยแบบ A เป็นการเพิ่มค่า Pre-Exponential Factor และลดค่า Activation Energy ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยได้เร็วขึ้น และแบบ B เป็นการลดค่า Pre-Exponential Factor และเพิ่มค่า Activation Energy ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยได้ช้าลง ซึ่งทั้ง 2 วิธีส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวแกนตั้งที่จุดกึ่งกลางเตาเผาบริเวณเหนือตะแกรงถึงจุดสูงสุดของหม้อน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6.1.2 การปรับค่าของแบบจำลอง Char Combustion

ในการปรับค่าของแบบจำลอง Char Combustion พารามิเตอร์ที่ปรับคือ Mass Diffusion-Limited Rate และ Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor โดยแบบ A เป็นการปรับค่า Mass Diffusion-Limited Rate และค่า Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอยู่บริเวณเหนือตะแกรงมีค่าสูงขึ้น และแบบ B เป็นการปรับค่า Mass Diffusion-Limited Rate และค่า Kinetics-Limited Rate Pre-Exponential Factor ลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอยู่บริเวณเหนือตะแกรงมีค่าต่ำลง

6.1.3 การปรับค่า Enthalpy of Formation ของสารระเหย

ในการปรับค่า Enthalpy of Formation ของสารระเหย โดยแบบ A เป็นการปรับให้ค่า Enthalpy มีค่าติดลบมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ลดลง และแบบ B เป็นการปรับให้ค่า Enthalpy มีค่าติดลบน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

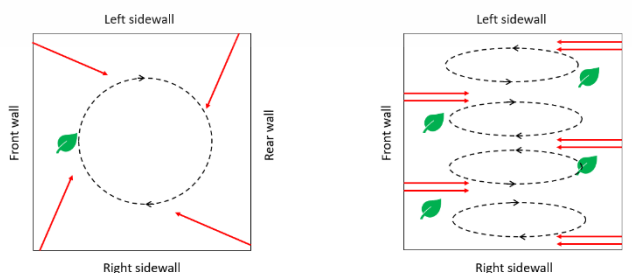
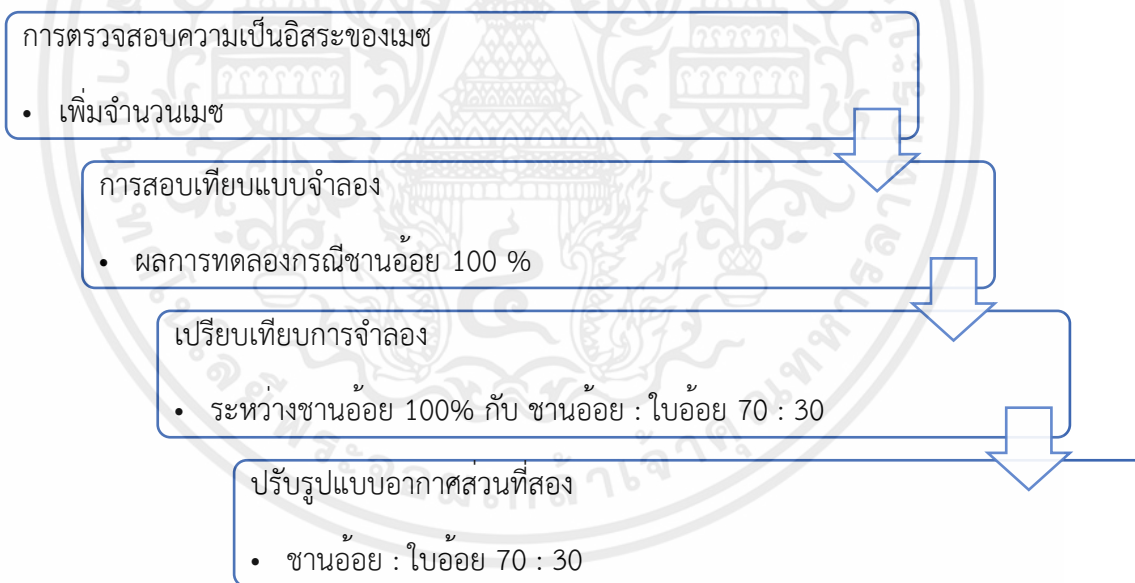
1. จากผลการทดลองในการตรวจสอบความเป็นอิสระของเมช พบว่าที่เมชจำนวน 1.7 ล้าน และที่ 1.3 ล้าน ยังไม่สามารถหาขอบเขตที่ชัดเจนของแบบจำลอง เนื่องจากอุณหภูมิที่ระยะ 1.179, 2.358 และ 3.537 เมตรเหนือตะแกรงยังมีค่าต่างกัน ดังนั้นจึงควรทดลองแบบจำลองโดยกำหนดขนาดเมชบริเวณที่ระยะ 1.179, 2.358 และ 3.537 เมตรให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นจึงประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองแล้วนำมาทำการทดลองอื่นๆต่อไป

2. สามารถใช้งานวิจัยนี้อ้างอิงในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมต่อการสอบเทียบการต่อยอดการศึกษา

เพื่อให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้อ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและไม่เกิดผลกระทบต่อ การเดินเครื่อง ทางผู้วิจัยเสนอให้มีการศึกษาดังต่อไปนี้

6.3 การต่อยอดการศึกษา

เพื่อให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้อ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและไม่เกิดผลกระทบต่อ การเดินเครื่อง ทางผู้วิจัยเสนอให้มีการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.1 แสดงแผนผังการต่อยอดการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Laubscher, Ryno, and Schalk van der Merwe. **Heat Transfer Modelling of Semi-Suspension Biomass Fired Industrial Watertube Boiler at Full-and Part-Load Using CFD.** Thermal Science and Engineering Progress, vol. 25, 2021.
- [2] Felipe Orlando Centeno-González, et al. **CFD Modeling of Combustion of Sugarcane Bagasse in an Industrial Boiler.** Fuel, vol. 193, 2017.
- [3] Diaz-Mateus, Fabian Andrey, et al. **CFD Simulation of Sugarcane Bagasse Combustion in an Industrial Grate Boiler.** DYNA, vol. 85, no. 204, 2018.
- [4] Yin, Chungun, et al. **Characterizing and Modeling of an 88 MW Grate-Fired Boiler Burning Wheat Straw: Experience and Lessons.** Energy, vol. 41, no. 1, 2012.
- [5] Bermúdez, César A, et al. **Three-Dimensional CFD Simulation of a Large-Scale Grate-Fired Biomass Furnace.** Vol. 198, 2020.
- [6] Ferreira, D. J. O., et al. **THE IMPACT of RADIATION in the GAS COMBUSTION MODEL for SUGARCANE BAGASSE GRATE BOILER.** Brazilian Journal of Chemical Engineering, vol. 33, no. 3, 2016.
- [7] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, **โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ: ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ.** คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อน้ำ. 2553
- [8] iEnergyGuru. (2558). **“Boiler”...เครื่องกำเนิดไอน้ำ.** สืบค้น 25 ตุลาคม 2566, จาก <https://ienergyguru.com/2015/03/boilerเครื่องกำเนิดไอน้ำ/>
- [9] นายช่างมาแชร์. (2564). **หม้อไอน้ำ Boiler [EP.4] : หม้อไอน้ำแบบผสม (Hybrid Boiler).** สืบค้น 25 ตุลาคม 2566, จาก <https://naichangmashare.com/2021/07/04/hybrid-boiler-ep4/>
- [10] นายช่างมาแชร์. (2564). **หม้อไอน้ำ Boiler [EP.3] - หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Boiler).** สืบค้น 25 ตุลาคม 2566, จาก <https://naichangmashare.com/2021/05/31/boilerep-3-watertubeboiler/>
- [11] Y. Cengel and M. Boles, **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw Hill. 8^t Ed, 2015.
- [12] Japanese Industrial Standard JIS B8222:1993
- [13] วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี. **“การผลิตและการใช้เชื้อเพลิง.** สืบค้น 25 ตุลาคม 2566, จาก http://ctc.chontech.ac.th/files/230310088495911_23051511111835.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] สสวท. (2553). **เชื้อเพลิงชีวภาพคืออะไร**. สืบค้น 25 ตุลาคม 2566, จาก <https://www.scimath.org/article-chemistry/item/1321-what-is-biofuel>
- [15] ญัฐพงศ์ ไชยสิทธิ์. **Boiler combustion part III**. สืบค้น 25 ตุลาคม 2566, จาก <https://www.kakaengineering.com/boiler-combustion-part-iii.html>
- [16] ฐานิตย์ เมรียนนท์. **ทฤษฎีและเทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งและชีวมวล**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : มินเซอร์วิศชีพพลาย. 2559.
- [17] J.M. Beer and N.A. Chigier 1972 *Combustion aerodynamics* (London: Applied Science Publishers Ltd)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



คำขอบริการที่ สนท. 118/66 ที่ ทป. 298-01/66

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์
ให้แก่
บริษัท มิตรผล ไบโอ-เทคเจอร์ (ด่านช้าง) จำกัด

การทดสอบ / วิเคราะห์ ใบอ้อย (Cane Leaf)
วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582, D 5373, D 4239 and D 5865
ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	10.85	-
สารระเหย, %	73.98	82.99
ถ่านคงตัว, %	9.82	11.01
เถ้า, %	5.35	6.00
ไฮโดรเจน, %	6.35	5.77
คาร์บอน, %	42.57	47.76
ไนโตรเจน, %	0.07	0.08
ออกซิเจน, %	45.57	40.29
ซัลเฟอร์, %	0.095	0.107
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	3,860	4,330
ค่าความร้อนต่ำ, กิโลแคลอรี/กก.	3,560	3,990

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์
1.
2.

ผู้รับรอง

(ดร. บรสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)
วิชาการใบคำแปลผู้อำนวยการ
ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม

ผู้ตรวจสอบ

(ดร. บรสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล) วันที่ 19 มกราคม 2566

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
๕๕ หมู่ ๕ ตำบลในชาติ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๖๐
โทร:(๖๖) ๐ ๒๕๖๒ ๕๖๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๖๒ ๕๖๐๑
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-EIE-13

รูปที่ ภาคผนวก ก 1 รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ภาคผนวก ก 1 แสดงการคำนวณรายละเอียดของเชื้อเพลิงใหม่โดยใช้ Microsoft Excel Program

สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ 1					สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ 2				
เชื้อเพลิง	หน่วย	30 ใบอ้อย			เชื้อเพลิง	หน่วย	70 ชานอ้อย		
		Dry basis	Wet basis	DAF			Dry basis	Wet basis	DAF
คาร์บอน (Carbon, C)	%	47.76	43.16	50.81	คาร์บอน (Carbon, C)	%	48.14	18.36	51.48
ไฮโดรเจน (Hydrogen, H)	%	5.77	5.21	6.14	ไฮโดรเจน (Hydrogen, H)	%	5.78	2.20	6.18
ไนโตรเจน (Nitrogen, N)	%	0.08	0.07	0.09	ไนโตรเจน (Nitrogen, N)	%	0.04	0.02	0.04
ออกซิเจน (Oxygen, O)	%	40.29	36.41	42.86	ออกซิเจน (Oxygen, O)	%	39.55	15.08	42.29
ขี้เถ้า (Ash, A)	%	6.00	5.42	0.00	ขี้เถ้า (Ash, A)	%	6.49	2.47	0.00
ซัลเฟอร์ (Sulfer, S)	%	0.10	0.09	0.11	ซัลเฟอร์ (Sulfer, S)	%	0.00	0.00	0.00
ความชื้น (Moisture)	%	0.00	9.63	0.00	ความชื้น (Moisture)	%	0.00	61.87	0.00
รวม	%	100.00	100.00	100.00	รวม	%	100.00	100.00	100.00
HHV	kcal/kg	4330	3913		HHV	kcal/kg	4260	1624	
LHV	kcal/kg	3990	3606		LHV	kcal/kg	3930	1499	
HHV	kJ/kg	18117	16372		HHV	kJ/kg	17824	6796	
LHV	kJ/kg	16694	15087		LHV	kJ/kg	16443	6270	
Mass Flow Rate		3.126			Mass Flow Rate		7.294		

ตารางที่ ภาคผนวก ก 2 แสดงการคำนวณความหนาแน่นของเชื้อเพลิงใบอ้อยโดยใช้ Microsoft Excel Program

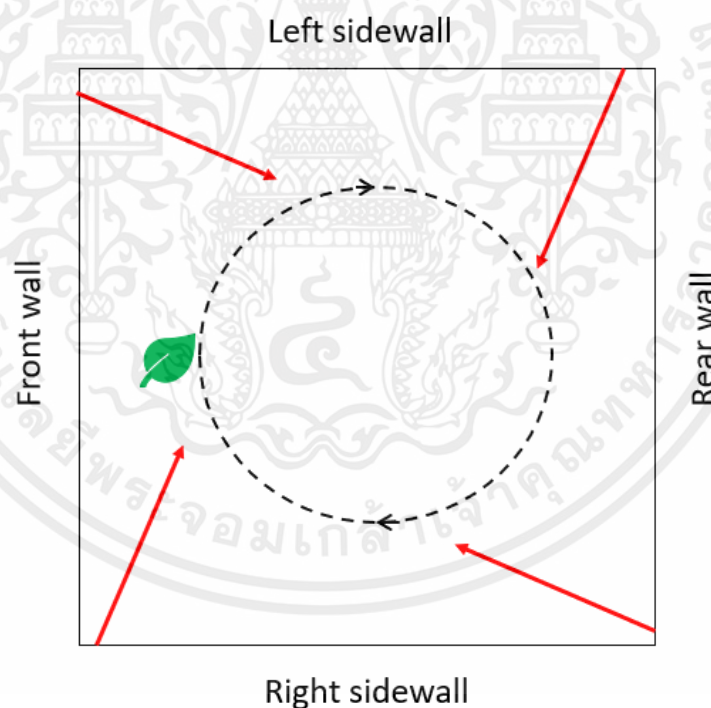
	mass of box (kg)	total mass (kg)	mass of sugarcane leaves (kg)
1	0.14984	0.17926	0.02942
2	0.14983	0.17527	0.02544
3	0.14982	0.16748	0.01766
Average	0.14983	0.17400	0.02417
Volume of box (m ³)	0.0006		
Density(kg/m ³)	40.2889		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ภาคผนวก ก 3 แสดงการทดลองหาขนาดมวลคละของใบอ้อย

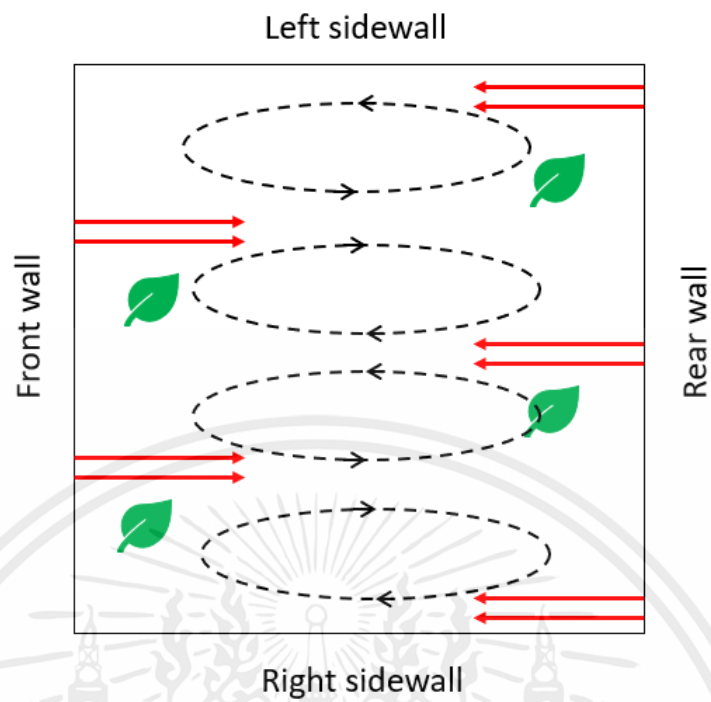
Average							
Seive size (mm)	Weight of Sugarcane leave (g)	Weight Sieve (g)	Weight Sieve + Sugarcane leaves (g)	Weight Sugarcane leaves Retained (g)	Cumulative Retained (g)	Cumulative Retained %	% Finer
12.5	20.06	796.20	802.27	6.07	6.07	30.26	69.74
9.5		521.95	522.64	0.69	6.76	33.70	66.30
4.75		501.21	502.83	1.61	8.37	41.74	58.26
2.36		408.37	411.52	3.15	11.53	57.46	42.54
1.18		637.89	640.55	2.66	14.18	70.71	29.29
0.6		598.33	600.28	1.95	16.13	80.41	19.59
0.3		552.36	554.46	2.10	18.23	90.88	9.12
PAN		349.29	351.11	1.83	20.06	99.99	0.01

Size distribution parameter	Value
Maximum particle diameter	12.5 mm
Minimum particle diameter	0.15 mm
Mean particle diameter	6.658705 mm
Spread parameter	0.498822



รูปที่ ภาคผนวก ก 2 แสดงการปรับรูปแบบอากาศส่วนที่สอง รูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ภาคผนวก ก 3 แสดงการปรับรูปแบบอากาศส่วนที่สอง รูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้