

การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ซินแก๊ส

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AIR PREHEATER FOR SYNGAS
COMBUSTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-030-124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AIR PREHEATER FOR SYNGAS
COMBUSTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-M-030-124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ซินแก๊ส
นักศึกษา	นายอัษฎาวุธ ภูรอด
รหัสประจำตัว	62601131
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขามิ่ง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ซินแก๊ส เพื่อให้ความร้อนกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง แบบอัลฟาขนาด 30 kW โดยใช้วิธีการคำนวณของไหลพลวัต (CFD) ด้วยซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent วิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งกับอากาศ มีการเปรียบเทียบแบบจำลองการไหลแบบสวนทางกัน เมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศและไม่ใส่แผ่นกั้นอากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนและความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผ่นกั้นอากาศ และพื้นที่หน้าตัดในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากความยาวของท่อ ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุดคือ 57% ที่ความยาวของแบบจำลองเครื่องอุ่นอากาศ 3 เมตร และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดภายนอกท่อต่อภายในท่อที่เหมาะสมเป็น 12 ผลจากการจำลองพบว่าสามารถใส่แผ่นกั้นอากาศได้เหมาะสมกับแบบจำลองที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นอากาศต่อความยาวรวมในการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 0.063 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น 20 % เมื่อเทียบกับการไม่ใส่แผ่นกั้นอากาศ อุณหภูมิหลังจากอุ่นอากาศเพิ่มขึ้น 372 K จาก 350 K ทำให้ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น 6.82 % แบบจำลองหัวเผาปกติ และ 4.97 % แบบจำลองการปรับปรุงหัวเผา อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเป็น 3.05 ที่การเผาไหม้สมบูรณ์พอดี การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบ การเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น ไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สมีเทนจะน้อยสุด มีปริมาณเหลือของแก๊สมีเทนจากการเผาไหม้ 90 ppm ในกรณีอื่นมีอัตราการเผาของมีเทนใกล้เคียงกันที่ 23 ppb แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนในแก๊สไอเสีย เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะน้อยสุด มีปริมาณเหลือของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ 83,500 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Performance Improvement of air Preheater for Syngas Combustion
Student	Mr. Ausadawut Bhurod
Student ID.	62601131
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sutapat Kwankaomeng

ABSTRACT

This thesis focuses on enhancing the performance of the syngas combustion air preheater for Stirling engine heating applications. A 30 kW Alpha flue gas was analyzed using computational fluid dynamics (CFD) with ANSYS Fluent software to evaluate the heat exchange between the syngas combustion chamber's flue gas and air. The analysis compared counter flow models, considering the presence or absence of an air baffle. It was observed that the heat exchange efficiency and pressure drop increased with the number of air baffles, as well as with the cross-sectional area in heat exchange relative to the pipe length. The maximum heat exchange efficiency reached 57% for a 3-meter model air preheater, with an optimum pipe-in-pipe cross-sectional area ratio of 12. The simulation results indicate that incorporating an air baffle in the model, where the ratio of air baffle distance to the total heat exchanging length is 0.063, resulted in a 20% increase in heat exchange efficiency compared to the case without an air baffle. Furthermore, the air temperature after preheating rose by 372 K from 350 K, leading to a 6.82% increase in the syngas combustion chamber's heat output in the normal burner model and a 4.97% increase in the improved burner model. The air-fuel ratio for achieving perfect combustion was determined to be 3.05. All eight forms of syngas combustion were simulated. In the case of the improved burner connected to a 15-air baffle air preheater, without excess air, the efficiency of methane gas combustion was found to be the lowest, resulting in a residual amount of 90 ppm of methane after combustion. In the remaining cases, the combustion rate of methane was similar, at 23 ppb. Increasing the amount of syngas fuel in combustion led to improved carbon monoxide combustion. However, in the case of the improved burner connected to a 15-air baffle air preheater without excess air, the efficiency of carbon monoxide combustion was found to be the lowest, with a residual amount of 83,500 ppm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนอุทิศเวลาในการตรวจทานจนเสร็จสิ้นและ ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำวิธีการทำวิจัยและการเขียนบทความทางวิชาการเป็นอย่างดีตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้, คำแนะนำ และการช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ห้องทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (GEER LAB) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยจนสำเร็จลงได้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวทุกคนที่ให้กำลังใจ, คำแนะนำ และการสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง สุดท้ายนี้คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่กล่าวถึงและไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้

อัษฎาวุธ ภู่ออด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 วิธีการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	7
2.2.1 การนำความร้อน.....	7
2.2.2 การพาความร้อน.....	8
2.2.3 ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน.....	10
2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	12
2.3.1 การวิเคราะห์โดยวิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยล็อกมิติน.....	12
2.3.2 การวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบประสิทธิผล-NTU.....	13
2.4 การไหลแบบภายในและการถ่ายเทความร้อน.....	14
2.4.1 สภาวะการไหล.....	14
2.4.2 แบบจำลองความปั่นป่วน RNG.....	14
2.4.3 แบบจำลองใกล้ผนังสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่มีผนังเป็นขอบเขต.....	15
2.5 ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม.....	17
2.5.1 ระเบียบวิธี QUICK.....	18
2.6 ระเบียบวิธีการแก้ปัญหา.....	20
2.6.1 วิธีการคำนวณแบบ pressure-based approach.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ความสัมพันธ์ของความดันและความเร็วกับระเบียบวิธีแบบ SIMPLE.....	21
2.6.3 ระเบียบวิธีการประมาณค่าความดัน.....	25
2.6.4 วิธีการประมาณค่าเกรเดียนต์.....	26
2.7 การเผาไหม้.....	27
2.7.1 โครงสร้างของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน.....	29
2.7.2 ทฤษฎีการเผาไหม้.....	30
2.7.3 สมการการเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric combustion).....	30
2.7.4 สมการการเผาไหม้ขึ้นแก๊ส (Combustion equation).....	31
2.7.5 อุณหภูมิเปลวอะเดียบาติก (adiabatic flame temperature).....	31
2.7.6 กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass).....	32
2.7.7 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสีย.....	32
2.7.8 กฎของดอลตัน (Dalton's Law of partial pressure).....	32
2.7.9 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity).....	32
บทที่ 3 ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์.....	33
3.2 สภาวะขอบเขต (Boundary Condition).....	34
3.3 เอลิเมนต์ (Element).....	41
3.4 การลู่เข้าของผลเฉลย (Mesh Convergence).....	42
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล.....	44
4.1 การวิเคราะห์และรายงานผล (Analysis and Post-processing).....	44
4.1.1 การวิเคราะห์ผลการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศ.....	44
4.1.2 การวิเคราะห์ผลการเผาไหม้ขึ้นแก๊สเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศ.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก ก - ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	90
ภาคผนวก ข - การวิเคราะห์ทางทฤษฎี.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดวางอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์กึ่งกลางและสัมประสิทธิ์ข้างเคียงตามระเบียบวิธี QUICK.....	20
2.2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแก้ความดัน.....	24
2.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง.....	28
2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลว.....	28
2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแก๊ส.....	28
3.1 Element and Nodes air preheater and combustion chamber.....	42
4.1 The amount of heat from the combustion of syngas.....	74
4.2 Exhaust gas composition from syngas combustion.....	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วิธีการจำลองไหลผนัง.....	16
2.2 ปริมาตรควบคุมรอบจุดต่อ.....	18
2.3 เส้นประมาณของฟังก์ชันกำลังสอง.....	19
2.4 ปริมาตรควบคุมสำหรับความเร็ว.....	22
2.5 ปริมาตรควบคุมของปริมาณสเกลาร์สำหรับแปลงสมการความต่อเนื่อง.....	23
2.6 ปริมาตรควบคุมที่ใช้แสดงการแปลงสมการการเคลื่อนย้ายปริมาณสเกลาร์.....	26
2.7 การประเมินเกรเดียนต์จากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์.....	26
3.1 วงจรการวิเคราะห์ (The Analysis Cycle).....	33
3.2 รูปแสดงระบบการการเผาไหม้ซินแก๊สสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง.....	34
3.3 รูปแสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศการไหลแบบทางเดียวกัน.....	35
3.4 รูปแสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศการไหลแบบสวนทาง.....	35
3.5 รูปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	36
3.6 รูปเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับความยาวเครื่องอุณหอากาศ.....	36
3.7 รูปเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดภายนอกต่อภายในท่อ.....	37
3.8 รูปแสดงระบบการการเผาไหม้ซินแก๊สสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้านข้าง.....	37
3.9 รูปแสดงการระบบการการเผาไหม้ซินแก๊สสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้านหน้า.....	38
3.10 รูปแสดงเงื่อนไขการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศ.....	38
3.11 อัตราส่วนระยะห่างแผ่นต่อความยาวรวมเมื่อเทียบกับจำนวนแผ่นกั้นอากาศ.....	39
3.12 รูปแสดงแบบจำลองเครื่องอุณหอากาศหลังและก่อนปรับปรุง.....	39
3.13 รูปแสดงแบบจำลองห้องเผาไหม้ซินแก๊ส.....	40
3.14 รูปแสดงแบบจำลองหัวเผาซินแก๊สหลังและก่อนปรับปรุง.....	40
3.15 แสดงรูปกริดท่อแก๊สร้อนเครื่องอุณหอากาศ.....	41
3.16 แสดงรูปกริดเครื่องอุณหอากาศ.....	41
3.17 Mesh Convergence (No Baffle plate).....	43
4.1 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศ (-).....	44
4.2 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศ (-).....	45
4.3 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศ (2).....	45
4.4 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุณหอากาศ (2).....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (4).....	46
4.6 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (4).....	47
4.7 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (7).....	47
4.8 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (7).....	48
4.9 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (9).....	48
4.10 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (9).....	49
4.11 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (15).....	49
4.12 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (15).....	50
4.13 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (21).....	50
4.14 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (21).....	51
4.15 preheating air temperature and number of baffle plates.....	51
4.16 Pressure drops and number of baffle plates.....	52
4.17 The amount of heat and the number of baffle plates.....	52
4.18 Effectiveness and number of baffle plates.....	53
4.19 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 0%.....	53
4.20 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 0%.....	54
4.21 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 0%.....	54
4.22 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 0%.....	55
4.23 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 0%.....	55
4.24 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 20%.....	56
4.25 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 20%.....	56
4.26 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 20%.....	57
4.27 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 20%.....	57
4.28 O-Bm (link Om AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 20%.....	58
4.29 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 0%.....	58
4.30 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 0%.....	59
4.31 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 0%.....	59
4.32 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 0%.....	60
4.33 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 0%.....	60
4.34 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 20%.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.35 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 20%.....	61
4.36 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 20%.....	62
4.37 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 20%.....	62
4.38 O-Bm (link Opm AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 20%.....	63
4.39 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 0%.....	63
4.40 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 0%.....	64
4.41 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 0%.....	64
4.42 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 0%.....	65
4.43 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 0%.....	65
4.44 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 20%.....	66
4.45 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 20%.....	66
4.46 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 20%.....	67
4.47 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 20%.....	67
4.48 B-Mhm (link Om AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 20%.....	68
4.49 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 0%.....	68
4.50 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 0%.....	69
4.51 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 0%.....	69
4.52 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 0%.....	70
4.53 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 0%.....	70
4.54 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 25 m ³ /hr Excess air 20%.....	71
4.55 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 50 m ³ /hr Excess air 20%.....	71
4.56 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 75 m ³ /hr Excess air 20%.....	72
4.57 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 100 m ³ /hr Excess air 20%.....	72
4.58 B-Mhm (link Opm AP-H) Operate air 200 m ³ /hr Excess air 20%.....	73
4.59 แบบจำลองแสดงการไหลของแก๊สร้อนในห้องเผาไหม้.....	73
4.60 จำลองการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้เมื่อต่อกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง.....	74
4.61 แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการเผาไหม้กับอัตราการใช้ซินแก๊ส.....	75
4.62 แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการเผาไหม้กับอัตราการใช้ซินแก๊ส.....	76
4.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction CH ₄ กับอัตราการใช้ซินแก๊ส.....	76
4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction CO กับอัตราการใช้ซินแก๊ส.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง **ix** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction H_2 กับอัตราการใช้ซินแก๊ส.....	77
4.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction SO_2 กับอัตราการใช้ซินแก๊ส.....	78
4.67 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปกติ.....	78
4.68 แสดงปฏิกิริยา H_2O N_2 O_2 COS เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปกติ.....	79
4.69 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปกติ.....	79
4.70 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปกติ.....	80
4.71 แสดงปฏิกิริยา O_2 H_2O N_2 H_2S เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปกติ.....	80
4.72 แสดงปฏิกิริยา COS SO_2 SO SO_3 เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปกติ.....	81
4.73 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปรับปรุง.....	81
4.74 แสดงปฏิกิริยา H_2O N_2 O_2 H_2S เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปรับปรุง.....	82
4.75 แสดงปฏิกิริยา SO SO_3 SO_2 COS เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปรับปรุง.....	82
4.76 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปรับปรุง.....	83
4.77 แสดงปฏิกิริยา H_2O N_2 O_2 COS เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปรับปรุง.....	83
4.78 แสดงปฏิกิริยา SO SO_3 SO_2 H_2S เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปรับปรุง.....	84
4.79 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วระหว่างเกิดการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง x อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโลกของเรามีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปิโตรเลียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก ส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของแข็ง สิ่งที่เราต้องการคือ พลังงานความร้อนที่มีคุณภาพดี ซึ่งได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปซินแก๊ส โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสภาวะจำกัดปริมาณอากาศ เมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลร่วมกับเทคนิคการจำกัด ปริมาณอากาศ หรือออกซิเจน (O_2) หรือไอน้ำ (steam) เพื่อให้เกิดสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วน ที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในรูปของแข็งและก๊าซซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซอื่นๆ เรียกว่า โพรดิวเซอร์ก๊าซ ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล ถ้ามีความชื้นสูง ได้พลังงานความร้อนที่ต่ำ และต้องใช้เชื้อเพลิงชีวมวลปริมาณมาก ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณความชื้นต่ำ จะได้พลังงานความร้อนสูง คือสิ่งที่เราต้องการ

อย่างไรก็ตาม บทความนี้ศึกษาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศ และประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของซินแก๊สในห้องเผาไหม้ โดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นการปรับปรุงเครื่องอุ่นอากาศ เช่น พื้นที่ในการรับความร้อนต่อพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน การกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยเทคนิคที่ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านพลศาสตร์ของไหลและการจำลองปรากฏการณ์โดยใช้โปรแกรม Ansys Fluent เพื่อเพิ่มประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศและประสิทธิภาพการเผาไหม้ซินแก๊ส

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศที่อยู่ภายในระบบการเผาไหม้ซินแก๊ส ค่าที่เราสนใจศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิไอเสีย ลักษณะการไหลระหว่างแก๊สไอเสียกับอากาศ ขนาดความโตของท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และจำนวนแผ่นกั้นอากาศ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการไหลและปรับปรุงพฤติกรรมการไหลของอากาศ โดยทำการปรับปรุงเครื่องอุ่นอากาศ เพิ่มแผ่นกั้นอากาศ (Baffle Plate) เพื่อทำหน้าที่บังคับการไหล โดยสร้างแบบจำลองขึ้นมา

- 1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอเสียร้อนกับอากาศ การกระจายตัวของอุณหภูมิ ความดันตกคร่อม และปริมาณความร้อนที่จำลองขึ้นของเครื่องอุ่นอากาศ โดยใช้เทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหล
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิ ปริมาณความร้อน การเผาไหม้ของซินแก๊สในห้องเผาไหม้ โดยการเปรียบเทียบหัวเผาแบบที่มีครีบและไม่มีครีบเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศและมีแผ่นกั้นอากาศ

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1 จำลองการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและแก๊สไอเสียภายในท่อเครื่องอุ่นอากาศ โดยวัสดุท่อและผนังเครื่องอุ่นอากาศเป็นหลัก
- 1.3.2 กระบวนการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้ถือเป็นปริมาตรควบคุม (control volume) แบบ 3 มิติ มีการถ่ายโอนโมเมนตัมและความร้อน
- 1.3.3 ก๊าซไอเสียร้อนถือเป็นกาไหลแบบอัดตัวได้ (compressible flow), การไหลแบบคงตัว (steady flow), การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)
- 1.3.4 ขนาดรูปร่างของเครื่องอุ่นอากาศและห้องเผาไหม้ในโปรแกรมและชิ้นงานจริงมีความสมมาตรเท่ากันทุกมิติ
- 1.3.5 ใช้โปรแกรม Ansys, Fluent จำลองปัญหาของการไหลและการแลกเปลี่ยนความร้อน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียกับอากาศในเครื่องอุ่นอากาศจะไม่คำนึงถึงความชื้นในอากาศ
- 1.4.2 สร้างแบบจำลองในการทำนายลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในห้องเผาไหม้ซินแก๊ส การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method)
- 1.4.3 การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สจะไม่พิจารณาถึงการแผ่รังสีความร้อนจากกระบวนกันเผาไหม้ในห้องเผาไหม้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถทำนายพฤติกรรมกรรมการไหลภายในเครื่องอุ่นอากาศ เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป
- 1.5.2 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความเหมาะสมในการออกแบบการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศการไหลแบบสวนทางกัน และ การแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศการไหลแบบขนานกัน
- 1.5.3 เป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องอุ่นอากาศในการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ลักษณะการไหลในการถ่ายเทความร้อนมีผลต่อประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน ประสิทธิภาพใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามพื้นที่หน้าตัดจากความยาวของท่อ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดภายนอกท่อต่อภายในท่อที่เหมาะสมในการถ่ายเทความร้อน อัตราส่วนระหว่างระยะห่างแผ่นกั้นอากาศต่อความยาวรวมในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมกับจำนวนแผ่นกั้นอากาศ

- 1.5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน ความดันตกคร่อม ปริมาณความร้อน อุณหภูมิอากาศ เมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ และไม่ใส่แผ่นกั้นอากาศ ลักษณะการไหลของอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องอุณหอากาศต่อไป
- 1.5.5 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้ให้ได้ปริมาณความร้อนที่ต้องการกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 1.5.6 เป็นข้อมูลเพื่อประกอบใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้ให้สมบูรณ์เมื่อให้ปริมาณอากาศพอดี
- 1.5.7 เปรียบเทียบกระบวนการเผาไหม้ซินแก๊สระหว่างหัวเผาแบบปกติ และ แบบปรับปรุง เพื่อหาค่าความเหมาะสมนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาหัวเผาสำหรับซินแก๊สต่อไป
- 1.5.8 วิเคราะห์ลักษณะ และ ปริมาณการเกิดมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้ซินแก๊ส เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้ซินแก๊ส เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาไหม้ซินแก๊ส ปริมาณออกซิเจน ความเร็วในกระบวนการเผาไหม้ และลักษณะการไหลในการผสมกันระหว่างเชื้อกับอากาศ
- 1.5.9 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการปรับปรุงเครื่องอุณหอากาศเมื่อต่อเข้ากับห้องเผาไหม้ซินแก๊ส เช่น ปริมาณความร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ซินแก๊ส การกระจายตัวอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ซินแก๊สและลักษณะการไหลของแก๊สในช่วงการเผาไหม้ การเกิดมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้ซินแก๊ส เพื่อเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในการให้ความร้อนกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.6 วิธีการดำเนินงาน

- 1.6.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 คำนวณหา ลักษณะการไหล เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ อุณหภูมิแก๊สไอเสีย ค่าที่เหมาะสม
- 1.6.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม Ansys Fluent ในปัญหาการไหล การถ่ายเทความร้อน และการเผาไหม้ซินแก๊ส
- 1.6.4 ศึกษาทฤษฎีต่างๆและสมการที่ใช้ในการกำหนดค่าในโปรแกรม Ansys Fluent
- 1.6.5 ออกแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียกับอากาศ และการเผาไหม้ซินแก๊ส โดยใช้เทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหล
- 1.6.6 ตรวจสอบผลที่ได้จากการจำลองของโปรแกรมและปรับปรุงแก้ไข
- 1.6.7 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล
- 1.6.8 สรุปการทำงานและผลที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2022 Lu Ding, Mingming Yang Kai Dong [1] ได้ประเมินความสามารถทางเทคนิคของระบบแก๊สซิฟิเคชันขนาดเล็กพิเศษที่ใช้ไม้อัดแท่งที่มีความหนาแน่นสูง ตั้งค่าดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 hr มวลชีวภาพหลายชนิดถูกทำให้หนาแน่นและถูกทำให้เป็นคาร์บอนโดยควบคุมแหล่งความร้อนที่หลบหนีก่อนที่จะซาร์จเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ ถ่านอัดแท่งและส่วนผสมตกแต่งแสดงประสิทธิภาพแก๊สซิฟิเคชันที่ด้อยกว่าเมื่อเทียบกับถ่านอัดเม็ด ในกรณีที่ไม่มีปัญหาการอุดตันของน้ำมันดิน สภาวะคงตัวจะเกิดขึ้นได้เมื่อใช้วัตถุดิบตั้งต้นที่ผ่านการบำบัดล่วงหน้า ภายใต้สภาวะคงตัวสำหรับแก๊สซิฟิเคชันอัดเม็ดถ่านที่ดำเนินการในอัตราส่วนสมมูลที่ 0.32 ประสิทธิภาพของแก๊สเย็นและการแปลงคาร์บอนทำได้ 49.2% และ 70.5% ตามลำดับ ประสิทธิภาพโดยรวมและกำลังขั้วสูงสุดที่ 20.3% และ 21 kw เกิดขึ้นตามลำดับ พบว่าระบบสามารถรักษาความเสถียรได้ในขณะที่วาล์วความร้อนต่ำของซิงก์สูงกว่า 4 MJ/m^3 โดยมีเงื่อนไขว่าต้องหลีกเลี่ยงปัญหาการปิดกั้นน้ำมันดิน ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กพิเศษที่มีขนาดกะทัดรัดนี้เป็นแนวทางที่เป็นไปได้ทางเทคนิคในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงาน นอกจากนี้ การจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานด้วยแก๊สซิฟิเคชันจากไม้คาร์บอนได้รับการกำหนดขึ้นเพื่อผลิตซินแก๊สและไฟฟ้า Woody Pellet ที่มีอัตราการไหล 20 kg/hr สามารถสร้างพลังงานได้ 15.18 kW ที่อัตราการส่งอากาศที่ $40 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ ซึ่งเป็นข้อตกลงที่ดีกับ 15 kw ในการทำงาน 100 hr มีการระบุว่าวงจรการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานด้วยแก๊สซิฟิเคชันที่จำลองโดยเครื่องจำลอง Aspen สามารถได้รับข้อมูลที่เชื่อถือได้เพื่อช่วยในการดำเนินการทดลองที่ซับซ้อน

ในปี 2022 Nantana Lamart Slatter, Bunyawat Vichanpol [2] ได้แปรสภาพเป็นก๊าซของมวลชีวภาพด้วยไอน้ำในเครื่องผลิตก๊าซในแนวนอนนำร่องโดยใช้ไม้อย่างพาราอัดแท่ง (RWPs) และเศษไม้ยูคาลิปตัส (EWCs) เพื่อผลิตซินแก๊สที่อัตราส่วน H_2/CO 1.8 ถึง 2.3 สำหรับการสังเคราะห์ Fischer-Tropsch การศึกษาแบ่งออกเป็นสองส่วน หนึ่งถูกดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบผลกระทบของอุณหภูมิและ CaO ต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ก๊าซและประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันดิน อีกส่วนหนึ่งถูกกำหนดโดยการตรวจสอบผลกระทบของอัตราส่วนไอน้ำต่อมวลชีวภาพ (S/B) ต่ออัตราส่วน H_2/CO ที่ผลิตได้ในเครื่องผลิตก๊าซแนวนอนนำร่อง ซึ่งใช้สภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิและ เปอร์เซนต์โพลด CaO สำหรับการกำจัดน้ำมันดินตาม สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจาก Gasifier ระดับห้องปฏิบัติการ ผลลัพธ์ของเครื่องทำให้เป็นแก๊สในระดับห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่า H_2 และ CO_2 เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเนื่องจากปฏิกิริยาของแก๊สน้ำปฏิกิริยาและทุติยภูมิและปฏิกิริยาปฏิรูปไฮโดรคาร์บอน การเปลี่ยนแปลงของก๊าซน้ำและปฏิกิริยาปฏิรูปไฮโดรคาร์บอนทำให้ปริมาณ CO และ CH_4 ลดลงด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ อุณหภูมิการทำแก๊สที่เหมาะสมคือ $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งได้อัตราส่วน H_2/CO ที่ 1.8 สำหรับทั้ง RWP และ EWC ผลผลิตน้ำมันดินลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และน้อยกว่า $0.2 \text{ wt } \%$ เมื่อใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแตกตัวของน้ำมันดิน การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของเครื่องผลิตแก๊สในแนวอนนาร์่องที่สภาวะการทำงาน 900 °C และอัตราส่วน S/B ที่ 0.5 โดยใช้การไหล CaO 0.2 % โดยน้ำหนักสำหรับการกำจัดน้ำมันดิน ยังทำให้อัตราส่วน H_2/CO เท่ากับ 2.0 การจ่ายแหล่งความร้อนภายนอกทำให้อุณหภูมิแก๊สที่ส่งผลให้อัตราส่วนประกอบของแก๊สที่และอัตราการผลิตที่ 2.5 และ 2.7 kg/hr โดยมีอัตราส่วน H_2/CO ที่ 1.8 และ 1.9 สำหรับ RWP และ EWC ตามลำดับ

ในปี 2020 Navid Kousheshi, Mortaza Yari [3] ได้ตรวจสอบผลกระทบขององค์ประกอบของซินแก๊สในเชิงตัวเลขต่อลักษณะการเผาไหม้และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ RCCI ที่ทำงานด้วยซินแก๊ส/ดีเซลที่พลังงานคงที่ต่อรอบ จึงมีการเลือกองค์ประกอบของซินแก๊สต่างๆ ที่ผลิตขึ้นผ่านกระบวนการทำให้เป็นแก๊สเพื่อเปรียบเทียบกับซินแก๊สจำลอง (ส่วนผสมของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์) ผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ว่าการใช้ซินแก๊สส่งผลให้เกิดการปล่อยเขม่า CO และ UHC มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับซินแก๊สจำลอง แม้ว่าจะสามารถลด NO_x ได้มากขึ้นในขณะที่ใช้งานซินแก๊ส เครื่องยนต์อาจประสบปัญหาจากการเผาไหม้ที่ไม่ดีและการเผาไหม้ผิดพลาดที่ไหลต่ำเนื่องจากมีไฮโดรเจนอยู่ในส่วนผสม ในแง่ของการออกแรง ส่วนผสมของซินแก๊สทั้งสองนำไปสู่การทำลายการคายออกมากขึ้นโดยการเพิ่มการแทนที่ของซินแก๊ส

ในปี 2020 U J Siregar A Lestari, L Rusniarsyah, and C A Siregar [5] แปรสภาพเป็นแก๊สของไม้ Sengon ไม้สน และไม้ Caliantra รวมทั้ง Wood Pellet เพื่อผลิตแก๊สที่เผาไหม้ได้ และเพื่อวิเคราะห์บทบาทของแก๊สที่เผาไหม้ได้ที่ผลิตในการลดการใช้ น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์เครื่องกำเนิดระบบคู่ ในการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องผลิตแก๊สแบบดาวนดราฟต์ที่ออกแบบเฉพาะในประเทศและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซลที่มีจำหน่ายทั่วไปซึ่งมีกำลังสูงสุด 12 kw อัตราการใช้ไม้ สีของไฟ และเปอร์เซ็นต์การประหยัดน้ำมันดีเซลจากไม้แต่ละประเภท กระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊สดำเนินไปได้ด้วยดี ซึ่งไม้ที่ถูกเผาและเศษไม้ทำให้เกิดเปลวไฟที่เสถียรเป็นสีส้ม อัตราการใช้ไม้คือ 18 kg/hr สำหรับ Sengon, 15 kg/hr สำหรับ Calliantra, 8 kg/hr สำหรับ Pine ในขณะที่ Wood Pellet อยู่ที่ 6 kg/hr การประหยัดน้ำมันดีเซลด้วยการยิงร่วมด้วยแก๊สอยู่ที่ 33%, 50% และ 95% สำหรับ sengon, calliantra และ pine ตามลำดับ การประหยัดน้ำมันดีเซลที่มีประสิทธิภาพต่ำอาจเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์และการสูญเสียความร้อนในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของแก๊สหรือประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลดลง

ในปี 2016 Brett Floyd, Corey Hall [7] ได้สร้างระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบ Stratified Downdraft ระบบนี้ใช้เพื่อแปลงเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาด 16 HP ให้เป็นระบบที่ใช้เฉพาะซินแก๊สที่ปล่อยออกมาจากไม้ที่เป็นแก๊สเป็นเชื้อเพลิงแทนที่จะเป็นน้ำมันเบนซิน ระบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ประกอบด้วยท่อดับเพลิงแบบดาวนดราฟต์ที่ถ่านไม้ถูกทำให้เป็นแก๊สและส่งผ่านตัวกรองสองตัวก่อนที่แก๊สจะเข้าสู่คาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์ มีความท้าทายบางอย่างที่ต้องเผชิญ เช่น การเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับระบบที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงปานกลาง และการออกแบบระบบสูญญากาศ หลังจากการออกแบบและสร้างระบบแก๊สซิฟิเคชันแล้ว เราสามารถเดินเครื่องเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งไม้ไม่ได้สำเร็จ และแสดงให้เห็นว่าไม้ซึ่งเป็นทรัพยากรหมุนเวียนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้

ในปี 2016 Magdalena Joka and Stawomir Poskrobko [8] ได้แปรสภาพเป็นแก๊สที่มีเทนที่อุดมด้วยเม็ดไม้สนในเทคโนโลยี Bio-CONOX การทดลองดำเนินการกับเครื่องผลิตแก๊สในห้องปฏิบัติการ (5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโรวด์) ซึ่งลักษณะการออกแบบทำให้สามารถผลิตก๊าซคุณภาพสูงที่มีปริมาณมีเทนสูงได้ ในผลลัพธ์ มีการระบุผลกระทบของปริมาณของ Bio-CONOX ต่อปริมาณของสารประกอบก๊าซไวไฟ (มีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์) ในก๊าซสังเคราะห์และค่าความร้อนของก๊าซ สารเติมแต่งถูกเติมในความเข้มข้น 10,20,30 และ 50% ลงในห้องเครื่องผลิตก๊าซ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของสารเติมแต่งส่งผลดีต่อค่าความร้อนของก๊าซสังเคราะห์ ก๊าซที่มีปริมาณมีเทนสูง (และค่าความร้อนสูง) ได้มาจากการแปรสภาพเป็นแก๊สของชีวมวลด้วยการเติม Bio-CONOX 50% มีการตรวจสอบสัดส่วนของลมเป่า (ตัวกลางที่เป็นแก๊ส) ซึ่งคุณสมบัติของซินแก๊สที่ได้มีดีที่สุดใน

ในปี 2016 N F Othman and M H Boosroh [9] แก๊สสังเคราะห์หรือซินแก๊สเกิดจากกระบวนการทำให้เป็นแก๊ส องค์ประกอบหลักคือไฮโดรเจน H_2 ; คาร์บอนมอนอกไซด์, CO ; มีเทน CH_4 ; คาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 และไนโตรเจน N_2 ซินแก๊สเป็นสิ่งทดแทนก๊าซธรรมชาติที่หมดสิ้นไป (80-90%.vol. CH_4) ก๊าซธรรมชาติถูกเผาไหม้ในกังหันก๊าซในโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้ของซินแก๊สโดยใช้กังหันก๊าซคาดว่าจะแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติ นี่เป็นเพราะเนื้อหาของ H_2 และ CO ในซิงกาสมีอุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติกสูงกว่า CH_4 ในการศึกษาี้ คุณภาพของซิงกาที่แตกต่างกันซึ่งมีส่วนประกอบของ H_2 (0.6-0.8 % .vol.) และ CO (1-3 % .vol.) ต่างกัน ถูกเผาไหม้โดยใช้กังหันก๊าซขนาดจิ๋ว (MGT) ขนาด 30kW ศึกษาสมรรถนะของคุณภาพซินแก๊สที่ต่างกันโดยใช้พารามิเตอร์การปล่อย NO_x , CO , CO_2 และประสิทธิภาพการเผาไหม้ NO_x และ CO เป็นสารมลพิษหลักจากกระบวนการเผาไหม้ การปล่อย NO_x นั้นสูงที่สุดสำหรับซิงกาสที่มีปริมาณ H_2 ที่ 0.8 % .vol. และปริมาณ CO 3 % .vol. การปล่อย CO อยู่ในช่วง 220-310 ppm สำหรับซินแก๊ส ที่ทดสอบทั้งหมด ในขณะที่การปล่อย CO_2 อยู่ในช่วง 0.96-1.06 % สำหรับ syngas ที่ทดสอบทั้งหมด ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงสำหรับซิงกาสที่มีปริมาณ CO เท่ากับ 1%.vol. และปริมาณ H_2 0.6-0.8 % .vol. อาจเป็นเพราะผลของการเจือจางของ N_2 ในซินแก๊ส

ในปี 2012 G. Teixeira, L. van de Steene, E. Martin [12] ทำเครื่องผลิตแก๊สเบดแบบคงที่ โซนแก๊สซิฟิเคชันแบบถ่านเบดที่ถ่านถูกแปลงเป็นซินแก๊สมีบทบาทสำคัญมีบทบาทในด้านประสิทธิภาพและการควบคุมกระบวนการ โซนนี้มีความซับซ้อนมากเป็นพิเศษ เช่น ปฏิกริยาเคมีต่างชนิดกันและเป็นเนื้อเดียวกัน การไหลของก๊าซในตัวกลางที่มีรูพรุนและการไหลของอนุภาคของแข็ง การศึกษาพฤติกรรมทางกลและอุณหภูมิของโซนแก๊สซิฟิเคชันเบดถ่าน และเน้นเฉพาะการบดอัดเบด ถ่านชีวมวลความหนาแน่นต่ำจากเศษไม้และถ่านความหนาแน่นสูงจากเศษไม้ถูกทำให้เป็นแก๊สในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ต่อเนื่องในระดับนำร่อง การวัดโปรไฟล์ถูกนำไปตามเตียงถ่านสำหรับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของสปีชีส์ของก๊าซ องค์ประกอบของถ่าน ความหนาแน่นของถ่านถ่าน และความเร็วของอนุภาคถ่านโดยใช้เครื่องมือวัดแบบละเอียดและเทคนิคการสุ่มตัวอย่างถ่านและก๊าซเฉพาะ ในสภาพการทำงานของเรา โซนปฏิกริยาของถ่านสำหรับซิป (45 hr) นั้นยาวกว่า (16 hr) ถึง 3 เท่า แสดงว่าการอัดเป็นก้อนไม่มีผลต่อ การบดอัดถ่านเบด การแปลงถ่านขั้นสุดท้าย (ประมาณ 95%) และคุณภาพของซินแก๊ส (16% H_2 และ 13% CO) สุดท้าย เราจะหารือเกี่ยวกับการบีบอัดเตียงถ่านและปรากฏการณ์หลักที่ควบคุมเพื่อเสนอแนวคำถามสำหรับการสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2010 Chaouki Ghenai [13] ได้ตรวจสอบเชิงตัวเลขของการเผาไหม้ของส่วนผสมของเชื้อเพลิงซินแก๊สในถังแก๊สเทอร์โบไบน์สามารถเผาไหม้ ทำให้ทราบผลกระทบของความแปรปรวนในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงทางเลือกและค่าความร้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการปล่อยมลพิษ เครื่องเผาไหม้กระป๋องกักกันก๊าซได้รับการออกแบบให้เผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดการปล่อยมลพิษและลดอุณหภูมิผนัง ส่วนผสมของซินแก๊ส ที่มีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงต่างกันผลิตขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีกระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซจากถ่านหินและชีวมวลที่แตกต่างกัน องค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ในเตาเผากระป๋องเปลี่ยนจากก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงซินแก๊สที่มีไฮโดรเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (H_2/CO) อัตราส่วนปริมาตรตั้งแต่ 0.63 ถึง 2.36 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงซินแก๊สประกอบด้วยแบบจำลอง k- ϵ สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน เศษส่วนผสม/แบบจำลอง PDF สำหรับการเผาไหม้ของก๊าซที่ไม่ผสมล่วงหน้า และแบบจำลองการแผ่รังสี P-1 บทความนี้นำเสนอผลกระทบขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงซินแก๊สและค่าความร้อนที่ลดลงต่อรูปร่างของเปลวไฟ อุณหภูมิของก๊าซ มวลของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่อหน่วยการสร้างพลังงาน ผลที่ได้จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของกังหันก๊าซที่สามารถเผาไหม้ด้วยการผลิตไฟฟ้าที่เท่ากันเมื่อเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติหรือมีเทนถูกแทนที่ด้วยเชื้อเพลิงซินแก๊ส

2.2 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนสามารถถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ ในการถ่ายเทความร้อนที่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทคือ การนำความร้อนและการพาความร้อน และที่ไม่ได้อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทคือการแผ่รังสีความร้อน

2.2.1 การนำความร้อน

เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเกิดการถ่ายเทความร้อนในทิศทางที่อุณหภูมิลดลง โดยโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ตามเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในทิศทางที่อุณหภูมิลดลง ลักษณะนี้เรียกว่า การนำความร้อน (heat conduction) การนำความร้อน คือ เป็นการส่งผ่านความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางโดยตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ ผ่านเนื้อวัตถุที่ไม่มีการเคลื่อนที่จากผิวด้านที่อุณหภูมิสูงถ่ายเทความร้อนไปสู่ผิวด้านอุณหภูมิต่ำ ซึ่งนอกจากการนำความร้อนจะผ่านในเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็ง ก็ยังส่งผ่านในชั้นของเหลวหรือก๊าซที่หยุดนิ่งได้ด้วย จากการทดลองพบว่าอัตราการส่งผ่านความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา แปรผันตรงกับเกรเดียนต์อุณหภูมิ (temperature gradient) เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

$$q_{cond} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

\dot{Q}_{cond} แทนอัตราการถ่ายเทความร้อน W

q_{cond} แทนอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ W/m^2

k แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $W/m \cdot k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A แทนพื้นที่การถ่ายเทความร้อน m^2

dT แทนค่าอุณหภูมิที่ต่างกัน

dx แทนระยะทางการนำความร้อน

2.2.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน เป็นการส่งผ่านความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลาง โดยตัวกลางมีการเคลื่อนที่ เช่น ผนังวัตถุร้อนในที่มีลมพัดจะเย็นเร็วกว่าผนังในที่อากาศนิ่ง ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของอากาศเป็นตัวพาเอาความร้อนไป เรียกการพาความร้อนของอากาศนี้ว่า การพาความร้อนแบบอิสระ หรือ แบบธรรมชาติ (free or natural convection) และเรียกการพาความร้อนของอากาศที่มีลมพัดว่า การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อม สามารถหาได้จากกฎของ Newton's law of cooling ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{q}_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

\dot{Q}_{conv} แทนอัตราการถ่ายเทความร้อน W

\dot{q}_{conv} แทนอัตราการถ่ายเทความร้อน W/m^2

h แทนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $W/m^2 \cdot K$

A แทนพื้นที่การถ่ายเทความร้อน m^2

T_s แทนอุณหภูมิที่ผิว $^{\circ}C$

T_∞ แทนอุณหภูมิของไหล $^{\circ}C$

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{q}_{conv} = \dot{q}_{cond} = -k_{fluid} \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (2.5)$$

$$h = \frac{k_{fluid} (\partial T / \partial y)_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (2.6)$$

เลขนัสเซลส์นัมเบอร์ (Nusselt number) เป็นคุณสมบัติการไหลของของไหลที่สำคัญ ซึ่งใช้เปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาเทียบกับการนำความร้อนในชั้นขอบเขตความร้อนใดๆ

$$Nu = \frac{h\delta}{k} \quad (2.7)$$

$$\frac{\dot{q}_{conv}}{\dot{q}_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k \Delta T / \delta} = \frac{h\delta}{k} = Nu \quad (2.8)$$

Nu แทนเลขนัสเซลส์นัมเบอร์

h แทนสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $W/m^2 \cdot K$

δ แทนความยาวหรือความยาวสมมูล (equivalent length) m

k แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $W/m \cdot K$

- ชั้นขอบเขตความเร็ว (Velocity boundary layer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากให้กระแสการไหลอิสระ (free stream line) มีความเร็วสม่ำเสมอ u_∞ ไหลผ่านแผ่นเรียบที่ขอบทางเข้า $x = 0$ สำหรับแนวความคิดของชั้นขอบเขตความเร็ว นั้น ความเร็วของที่สัมผัสกับวัตถุ นั้นจะสมมติให้เป็นศูนย์ และเมื่อระยะห่างจากผิววัตถุเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงระยะสูงสุดที่ $y = u_\infty$ และความเร็วจะเท่ากับ $u = 0.99u_\infty$

$$\tau_s = \mu \frac{u_\infty}{y} \quad (2.9)$$

τ_s แทนความเค้นเฉือนเฉพาะที่ N/m^2

μ แทนค่าความหนืดพลวัต $kg/m \cdot s$

u_∞ แทนความเร็วเฉลี่ยของไหล m^2/s

y แทนระยะตามแนวแกน m

- เลขเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number)

ค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ได้จาก (2.10) นับเป็นตัวเลขที่มีความสำคัญมากทางพลศาสตร์ของไหล เพราะจะใช้เป็นตัวบ่งบอกรูปแบบของการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) หรือแบบปั่นป่วน (turbulent) ค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ใช้เป็นตัวบ่งบอกรูปแบบการไหลจะเรียกว่า ค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤต (Critical Reynold number, Re_{exc}) เช่น สำหรับการไหลผ่านวัตถุแผ่นเรียบจะมีค่า $Re_{xcr} = 5 \times 10^5$ และการไหลในท่อทรงกระบอกจะมีค่า $Re_c = 10^5$ เป็นต้น

$$Re = \frac{u_\infty x}{\nu} = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} \quad (2.10)$$

Re แทนความเค้นเฉือนเฉพาะที่ N/m^2

u_∞ แทนความเร็วเฉลี่ยของไหล m^2/s

ρ แทนความหนาแน่นของไหล kg/m^3

μ แทนค่าความหนืดพลวัต $kg/m \cdot s$

ν แทนค่าความหนืดจลน์ m^2/s

x แทนความยาวแผ่นเรียบ m

ชั้นขอบเขตความร้อน (Thermal boundary layer)

คือชั้นขอบเขตเขตความร้อน หากให้ของไหลไหลมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ T_∞ ไหลเข้ามาที่ขอบทางเข้า โดยผิวของไหลแผ่นวัตถุมีอุณหภูมิของไหล T_s ชั้นความหนาของไหล δ_t ต้องการทราบความหนาของชั้นความร้อนเท่ากับ $\delta_t = T_s + 0.99(T_\infty - T_s)$ ณ ตำแหน่ง $y = \delta_t$ ความหนาดังกล่าวจะถูกกำหนดจากผิววัตถุถึง $\theta = 0.99$ ดังรูปที่ 2.13

T_∞ แทนอุณหภูมิของไหล $^\circ C$

T_s แทนอุณหภูมิผิววัตถุ $^\circ C$

δ_t แทนชั้นขอบเขตความร้อน

y แทนระยะตามแนวแกน m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขพรานด์เทิลนัมเบอร์ (Prandtl number) เป็นคุณสมบัติการไหลของของไหล ซึ่งใช้เปรียบเทียบสภาพแพร่ทางโมเมนตัมกับสภาพแพร่ทางความร้อน

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (2.11)$$

Pr แทนเลขพรานด์นัมเบอร์

ν แทนความหนืดจลน์ m^2/s

α แทนค่าการแพร่ความร้อน $W/m.k$

μ แทนความหนืดพลวัต $kg/m \cdot s$

C_p แทนค่าความจุความร้อน $J/kg \cdot k$

k แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $W/m \cdot k$

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad (2.12)$$

T_∞ แทนอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม $^{\circ}C$

T_s แทนอุณหภูมิผิววัตถุ $^{\circ}C$

T_f แทนอุณหภูมิของของไหล $^{\circ}C$

2.2.3 ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (Thermal resistance)

การวิเคราะห์การนำความร้อนเทียบกับวงจรไฟฟ้าได้ คือ \dot{q}_{cond} เปรียบเทียบเหมือนกระแสไฟฟ้า T เปรียบเหมือนศักย์ไฟฟ้า เรียกว่าศักย์ความร้อน (thermal potential) และ $(\Delta x/\Delta A)$ เปรียบเหมือนความต้านทานเรียกว่า ความต้านทานความร้อน (thermal resistance)

- กรณี ผนังเรียบ

$$R_{wall} = \frac{1}{kA} \quad (2.13)$$

$$\dot{Q}_{cond,wall} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Wall}} \quad (2.14)$$

$$R_{conv,1 \text{ and } 2} = \frac{1}{hA} \quad (2.15)$$

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.16)$$

R แทนค่าความต้านทานความร้อน $^{\circ}C/W$

$\dot{Q}_{cond}, \dot{Q}_{conv}$ แทนอัตราการถ่ายเทความร้อน W

k แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $W/m \cdot k$

h แทนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $W/m^2 \cdot k$

T_s แทนอุณหภูมิด้านนอกผนัง $^{\circ}C$

T_∞ แทนอุณหภูมิด้านนอกผนัง $^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_1 แทนอุณหภูมิด้านในผนัง °C

T_2 แทนอุณหภูมิด้านนอกผนัง °C

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}} \quad (2.17)$$

$$R_{Total} = R_{conv,1} + R_{wall,1} + R_{wall,2} + R_{conv,2} \quad (2.18)$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2.19)$$

R_{Total} แทนค่าความต้านทานความร้อนรวม °C/W

- กรณี ผนังทรงกระบอก

$$R_{cond, cy} = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk} \quad (2.20)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{cy}} \quad (2.21)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad (2.22)$$

$$\dot{Q}_{conv,2} = \frac{T_4 - T_{\infty,2}}{R_{conv,2}} = h_2 A_3 (T_4 - T_{\infty,2}) \quad (2.23)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}} \quad (2.24)$$

$$R_{Total} = R_{conv,1} + R_{wall,1} + R_{wall,2} + R_{wall,3} + R_{conv,2} \quad (2.25)$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk_1} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk_2} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk_3} + \frac{1}{h_2 A_2} \quad (2.26)$$

r_i แทนค่าเส้นรัศมีภายใน m

r_o แทนค่าเส้นรัศมีภายนอก m

- กรณีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

มีความต้านทานความร้อนระหว่างผนังของของไหลสองชนิด สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient) จากที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นไม่ได้คิดการส่งผ่านความร้อนโดยการพาเลย ในทางปฏิบัติจะเกิดการพาด้วย เมื่อวัดดูวางในของไหล

$$R_{wall} = \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi kL} \quad (2.27)$$

$$R = R_{Total} = R_i + R_{wall} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (2.28)$$

D_i แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน m

D_o แทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก m

A_i แทนค่าพื้นที่ภายใน m^2

A_o แทนค่าพื้นที่ภายนอก m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T \quad (2.29)$$

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{wall} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (2.30)$$

ถ้า R_{wall} ถือเป็นผนังบาง เราจึงไม่คิดค่าความต้านทานความร้อน

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (2.31)$$

พื้นที่ของผนังบาง ถือว่าพื้นที่ภายในกับภายนอกเท่ากัน $A_i = A_o$

$$\frac{1}{U} = R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (2.32)$$

U แทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $^{\circ}C/W$

2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นขบวนการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งทางวิศวกรรมเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหล 2 ชนิด ในที่นี้จะศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกแยกจากกัน

2.3.1 การวิเคราะห์โดยวิธีความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยล็อกมิติน

วิธีแรก วิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ย ΔT_{lm} (Logarithmic mean temperature difference)

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{lm} \quad (2.33)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (2.34)$$

โดยที่ผลต่างของอุณหภูมิล็อกมิติน $\Delta T_1, \Delta T_2$ มีค่าเป็น

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนที่รูปทรงไม่ซับซ้อนเกิดกับรูปแบบอย่างง่าย เช่น 1 เซล 2 ท่อ , 2 เซล 2 ท่อ สามารถใช้วิธีล็อกมิตินเฉลี่ยได้เลย แต่ถ้ารูปแบบที่ซับซ้อนกว่านี้จะต้องการแก้ไขค่าผิดพลาดต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกมิตินแบบไหลแนวเดียวกันและแบบไหลข้ามกันด้วยการคูณค่าแฟกเตอร์แก้ไข F (Correction factor) จะได้ตามสมการดังนี้

$$\Delta T_{lm} = F \Delta T_{lm,CF} \quad (2.35)$$

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (2.36)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{(\dot{m}C_p)_{tube\ side}}{(\dot{m}C_p)_{shell\ side}} \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบประสิทธิภาพ-NTU

จากการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวิธีล็อกมินหรือที่ย่อว่า LMTD สะดวกเมื่ออุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า-ออกของเครื่องกำหนดมา ทำให้สามารถหา ΔT_{lm} ได้โดยง่ายอย่างไรก็ตามกำหนดให้เพียง

$$Q = UA\Delta T_{lm}$$

- ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Effectiveness)

ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่มีมิติที่กำหนดเป็นอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนจริง Q_{act} ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ Q_{max} มันแสดงโดยแสดงเป็น

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{\dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i})}{Q_{max}} = \frac{\dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,o} - T_{h,i})}{Q_{max}} \quad (2.38)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนจริงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถกำหนดได้จากสมดุลพลังงานของของไหลร้อนและเย็น และสามารถแสดงเป็น

$$Q = C_c (T_{c,o} - T_{c,i}) = C_h (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.39)$$

เมื่อ $C_c = \dot{m}_c C_{p,c}$ และ $C_h = \dot{m}_h C_{p,h}$ คือ อัตราความจุของของไหลเย็นและร้อน ตามลำดับ

- จำนวนหน่วยของการถ่ายเทความร้อน (Number of Transfer Units (NTU))

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (2.40)$$

- อัตราส่วนความจุความร้อน (Capacity Ratio)

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (2.41)$$

$$\varepsilon = \text{function} \left(\frac{UA}{C_{min}}, \frac{C_{min}}{C_{max}} \right) f(NTU, C) \quad (2.42)$$

โดย C_{min}/C_{max} มีค่า C_c/C_h หรือ C_h/C_c ขึ้นอยู่กับค่า C_c และ C_h ส่วน NTU หรือ number of transfer unit เป็นตัวแปรไร้มิติซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและมีค่าจำกัดความเป็น

- ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน

(Effectiveness of a Parallel Flow Heat Exchanger)

$$\varepsilon_{parallel\ flow} = \frac{1 - \exp\{-NTU \{1 + (C_{min}/C_{max})\}\}}{1 + (C_{min}/C_{max})} \quad (2.43)$$

- ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนกัน

(Effectiveness of a Counter Flow Heat Exchanger)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_{counter\ flow} = \frac{1 - \exp\{-NTU \{1 - (C_{min}/C_{max})\}\}}{1 - (C_{min}/C_{max}) \exp\{-NTU \{1 - (C_{min}/C_{max})\}\}} \quad (2.44)$$

2.4 การไหลแบบภายในและการถ่ายเทความร้อน

การไหลแบบภายใน เช่นการไหลในช่องทางไหล หรือการไหลในท่อที่มีหน้าตัดรูปร่างต่างๆ มีเนื้อหาพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนดังนี้

2.4.1 สภาวะการไหล

การไหลแบบภายในเช่นการไหลในท่อมีขอบเขตจำกัดโดยที่ความหนาของชั้นขีดผิวไม่สามารถเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ได้ เนื่องจากเมื่อไหลไปได้ระยะหนึ่งชั้นขีดผิวจะก่อตัวเต็มหน้าตัดการไหล รูปร่างของความเร็วจะมีลักษณะชัดเจนแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งเรียกว่าการไหลพัฒนาอย่างสมบูรณ์ (fully developed flow) สำหรับช่วงการไหลก่อนหน้านี้นี้เรียกว่าการไหลที่กำลังปรับตัว (developing flow) และเรียกระยะของการไหลที่กำลังปรับตัวว่าความยาวขาเข้า, L_c (hydrodynamic entrance length)

สำหรับการไหลภายในนั้น เลขเรย์โนลด์สำหรับการไหลกำหนดโดย

$$Re = \frac{\rho u_0 D}{\mu} \quad (2.45)$$

เมื่อ u_0 เป็นความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ และ D คือความยาวบ่งลักษณะของช่องทางไหลหรือเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter) มีนิยามเป็น

$$D = \frac{4A_c}{P} \quad (2.46)$$

เมื่อค่า A_c และ P เป็นพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของหน้าตัดตามลำดับ โดยทั่วไปสำหรับการไหลในท่อผิวเรียบ เลขเรย์โนลด์สวิกฤติของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นการไหลปั่นป่วน เริ่มต้นจาก $Re_b > 4000$ และความยาวของช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวหาได้จากสมการ

$$\left(\frac{L_c}{D}\right)_{\text{turb}} \approx 4.4 Re_b^{1/6} \quad (2.47)$$

2.4.2 แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \varepsilon$

แบบจำลองความปั่นป่วนที่เด็กล่าไปแล้วเป็นการแสดงลักษณะของความปั่นป่วนที่ถูกใช้คำนวณการไหลแบบปั่นป่วนกับสมการค่าเฉลี่ยเรย์โนลด์นาเวีย-สโตกส์ แบบจำลองความปั่นป่วนและการเคลื่อนย้ายปริมาณสเกลาร์ (Scalar transport) การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการไหลปั่นป่วนที่หลากหลาย ทำให้แบบจำลองสามารถใช้งานได้กับการไหลในหลายลักษณะ ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการไหลที่ได้พัฒนาแบบจำลองขึ้นท่ามกลางแบบจำลองความปั่นป่วนทั้งหลาย แบบจำลองที่อยู่ในความสนใจของนักวิจัยเนื่องจากมีความเหมาะสมและนิยมใช้ในปัจจุบันคือแบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \varepsilon$ แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่มี 2 สมการสำหรับใช้พิจารณาพลวัตความปั่นป่วนและการสร้างหรือการทำลายความปั่นป่วน โดยที่พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulent kinetic energy, k) นั้นเป็นพจน์ของการสร้าง ส่วนอัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนเนื่องจากความหนืด (Viscous dissipation, ε) เป็นพจน์ของการทำลายในสมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulent kinetic energy equation) แบบจำลองความปั่นป่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์โดยไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RNG $k - \varepsilon$ ให้ความสนใจกับกลไกที่ส่งผลต่อพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน โดยที่พลังงานจลน์ ณ ขณะเวลาหนึ่ง (Instantaneous kinetic energy, $k(t)$) ของการไหลแบบปั่นป่วนคือผลรวมของพลังงานจลน์เฉลี่ย (K) และพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) พลังงานจลน์ ณ ขณะเวลาหนึ่งของการไหลแบบปั่นป่วนสามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$k(t) = K + k \quad (2.48)$$

โดยที่ $K = \frac{1}{2}(U^2 + V^2 + W^2)$ และ $k = \frac{1}{2}(\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2})$ แบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบจำลอง Renormalization-group $k - \varepsilon$ (RNG $k - \varepsilon$) ที่ถูกคิดขึ้นโดย Yakhot and Orzag ในปี 1992 ซึ่งใช้วิธีเชิงสถิติอย่างแม่นยำที่เรียกว่า ทฤษฎี renormalization group แบบจำลองนี้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากกว่าแบบจำลอง Standard $k - \varepsilon$ สำหรับช่วงการไหลที่กว้าง แบบจำลอง RNG $k - \varepsilon$ ถูกเสริมเข้าไปกับสมการค่าเฉลี่ยเรย์โนลด์น่าเวีย-สโตกส์ เพื่อใช้ในการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วน สมการ RNG $k - \varepsilon$ สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้ [17]

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k U) = \text{div}[\alpha_k \mu_{\text{eff}} \text{grad} k] + \tau_{ij} \cdot s_{ij} - \rho \varepsilon \quad (2.49)$$

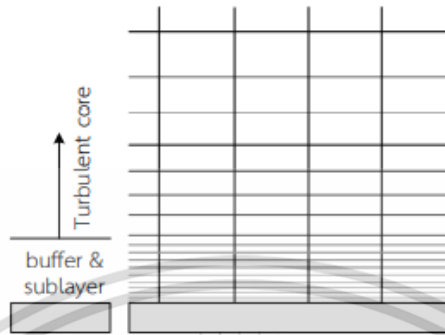
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon U) = \text{div}[\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \text{grad} \varepsilon] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \cdot s_{ij} - \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.50)$$

พจน์แรกทางด้านซ้ายมือของสมการ RNG $k - \varepsilon$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลง k หรือ ε พจน์ที่ 2 คือการเคลื่อนย้าย k หรือ ε โดยการพา ทางด้านขวามือของสมการประกอบไปด้วย การเคลื่อนย้าย k หรือ ε โดยการแพร่ อัตราการสร้าง k หรือ ε ตามลำดับสมการ RNG $k - \varepsilon$ มีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันคือ ความเค้นเรย์โนลด์ (τ_{ij}) ค่าความหนืดยังผล (Effective viscosity, μ_{eff}) และความหนืดหมุนวนเนื่องจากความปั่นป่วน (Eddy viscosity, μ_t) เมื่อ $\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = 2\mu_t S_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij}$ และ $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$ โดยที่ $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ ค่าคงที่ของแบบจำลอง α_k และ α_ε คือเลขพรานด์ยังผลผกผัน (Inverse effective Prandtl number) สำหรับค่า k และ ε มีค่าเท่ากับ 1.39 ส่วน C_μ เป็นตัวแปรไร้มิติมีค่าเท่ากับ 0.0845 สำหรับ $C_{1\varepsilon}^* = 1.42$ และ $C_{2\varepsilon} = 1.68$ ตามลำดับ

2.4.3 แบบจำลองใกล้ผนังสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่มีผนังเป็นขอบเขต

แบบจำลองความปั่นป่วน $k - \varepsilon$ มีความแม่นยำสำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วนในบริเวณแกนการไหลหรือในบริเวณที่ไกลออกไปจากผนัง วิธีการจำลองใกล้ผนังสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่มีผนังเป็นขอบเขตได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \varepsilon$ ในการแก้ปัญหาบริเวณใกล้ผนัง (Near-wall region) ที่การไหลได้รับอิทธิพลของความหนืด การวิเคราะห์ที่บริเวณใกล้ผนังสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่มีผนังเป็นขอบเขตใช้วิธีการจำลองการไหลใกล้ผนังแบบ enhanced wall treatment ซึ่งเป็นวิธีที่มีพื้นฐานมาจากการรวมแบบจำลองการไหล 2 ชั้น (Two layer model) เข้ากับวิธีฟังก์ชันผนังเสริม (Enhanced wall function) เพื่อรวมอิทธิพลจากความหนืดระหว่างบริเวณใกล้ผนังกับบริเวณที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วนอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามการเสริมการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการไหลใกล้ผนังด้วยวิธีแยกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

enhanced wall treatment เข้ากับแบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k-\varepsilon$ ยังคงต้องใช้กริดที่มีความละเอียดมากพอเพื่อการคำนวณที่สมบูรณ์สำหรับการไหลในบริเวณใกล้ผนังและบริเวณการไหลในชั้นย่อยหนืด [19] ดังรูปที่ 2.1 แสดงการคำนวณการไหลในชั้นย่อย ค่า y^+ ควรมีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1



รูปที่ 2.1 วิธีการจำลองใกล้ผนัง

สำหรับแบบจำลองการไหล 2 ชั้น ขอบเขตการไหลถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความหนืดกับบริเวณที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วนอย่างสมบูรณ์สำหรับบริเวณการไหลเป็นแบบปั่นป่วนอย่างสมบูรณ์ เลขเรย์โนลด์ปั่นป่วน $Re_y = \rho y \sqrt{k/\mu} \geq 200$ เมื่อ y คือระยะทางตั้งฉากจากผนังไปยังจุดศูนย์กลางเซลล์ ซึ่งกำหนดโดย $y = \min \|\vec{r} - \vec{r}_w\|$ โดยที่ \vec{r} เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดที่อยู่ในสนาม \vec{r}_w เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งบนผนังขอบเขต Γ_w คือการรวมกันของผนังขอบเขตทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นระยะทาง y จึงถูกกำหนดให้มีลักษณะเฉพาะในขอบเขตการไหลที่ซับซ้อนมีหลายผนัง ความหนืดหมุนวนสำหรับการไหลในบริเวณนี้กำหนดตามแบบจำลอง RNG $k-\varepsilon$ คือ

$$\mu_{t,i} = C_\mu \rho k^2 / \varepsilon \quad (2.51)$$

โดยที่ l คือสเกลความยาว ความหนืดในบริเวณที่ได้อิทธิพลจากความหนืดกับบริเวณที่การไหลแบบปั่นป่วนอย่างสมบูรณ์ใช้สูตรการรวมกัน (Blending formula) เพื่อประเมินความหนืดหมุนวนในสมการความเค้นเรย์โนลด์คือ

$$\mu_t = F_\mu \mu_{t,i} + (1 + F) \mu_{t,v} \quad (2.52)$$

ฟังก์ชันการรวมกัน (Blending formula) $F_\mu = F_\mu(Re_y)$ มีค่าเท่ากับ 0 ที่ผนัง และเท่ากับ 1 ในบริเวณที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วนอย่างสมบูรณ์ที่ $Re_y \gg 200$ สำหรับฟังก์ชันผนังเสริมเป็นวิธีการเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์การไหลทั่วบริเวณใกล้ผนัง ซึ่งจำเป็นต้องใช้กฎของผนังที่รวมความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นในชั้นการไหลแบบราบเรียบและความสัมพันธ์แบบลอการิทึมในชั้นการไหลแบบปั่นป่วนเข้าเป็นสมการเดียว ตามสมการ [15]

$$\mu^+ = e^\Gamma u_{lam}^+ + e^{\frac{1}{\Gamma}} u_{urb}^+ \quad (2.53)$$

เมื่อ u_{lam}^+ และ u_{urb}^+ คือกฎของผนังสำหรับการไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วนตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง

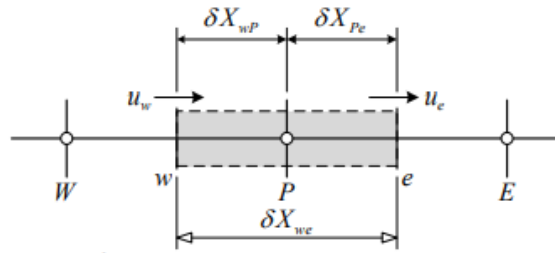
ระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องเป็นกระบวนการการแปลงสมการควบคุมของการเคลื่อนย้ายซึ่งอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยที่ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ให้อยู่ในรูปแบบของสมการพีชคณิตที่สอดคล้องกับสมการการเคลื่อนย้ายคุณสมบัติ (ϕ) ที่จะสามารถนำไปคำนวณด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งขนาดของระบบสมการพีชคณิตขึ้นกับจำนวนจุดต่อ การหาคำตอบของสมการพีชคณิตเหล่านี้มี 2 วิธี ได้แก่วิธีการตรง (Direct method) และวิธีการทางอ้อม (Indirect method) หรือที่เรียกอีกอย่างว่าวิธีการทำซ้ำ (Iteration method) สมการการเคลื่อนย้ายทั่วไปของคุณสมบัติ (ϕ) สำหรับปัญหาการพาและการแพร่กระจายแบบคงตัว (Steady convection-diffusion) ที่เกินขึ้นกับการไหลของของไหลสามารถเขียนเป็นสมการที่ไม่มีพจน์ของความไม่คงตัว (Transient term) ในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\text{div}(\rho u \phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S_\phi \quad (2.54)$$

พจน์ทางด้านซ้ายมือของสมการเป็นพจน์ของการพา (Convection term) ความเร็ว u เป็นตัวแทนของความเร็วของการไหลในทุกมิติ พจน์ทางด้านขวามือเป็นพจน์ของการแพร่ (Diffusion term) และพจน์ของการก่อกำเนิด (Source term) ที่แสดงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของคุณสมบัติ โดย Γ คือสัมประสิทธิ์การแพร่ การชีรูปปริพันธ์สำหรับสมการเคลื่อนย้ายเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาวิธีการเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง สมการการเคลื่อนย้ายในรูปปริพันธ์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\int_A (\rho u \phi) \cdot n dA = \text{div} \int_A (\Gamma \text{grad} \phi) \cdot n dA + \int_{CV} S_\phi dV \quad (2.55)$$

สมการปริพันธ์แสดงการสมดุลของฟลักซ์ในปริมาตรควบคุม พจน์ทางด้านซ้ายมือของสมการเป็นฟลักซ์สุทธิของการพาความร้อน (Net convective flux) ส่วนพจน์ทางด้านขวามือประกอบไปด้วยของฟลักซ์สุทธิของการแพร่ (Net diffusive flux) และการสร้าง (เพิ่มขึ้น) หรือการทำลาย (ลดลง) ของคุณสมบัติภายในปริมาตรควบคุม ตามลำดับการเปลี่ยนรูปควบคุมไปสู่ระบบสมการพีชคณิตมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเริ่มจากการแบ่งขอบเขตหรือการสร้างปริมาตรควบคุมและการแปลงสมการควบคุม การแบ่งขอบเขตเป็นการสร้างขอบเขตของการคำนวณเชิงตัวเลข ซึ่งเรียกว่าปริมาตรควบคุม (Control volumes, CVs) หรือเซลล์ (Cells) หากเป็นการจำลองแบบขึ้นกับเวลา (Transient simulation) คาบเวลาจะถูกแบ่งเป็นช่วงเวลาย่อย ๆ ด้วยเช่นเดียวกัน การแปลงสมการควบคุมถูกทำไปพร้อม ๆ กันกับการแบ่งเขต ซึ่งทำให้สมการควบคุมถูกแปลงไปเป็นสมการแปลงรูปที่อยู่ในระบบสมการพีชคณิตที่สามารถแก้ด้วยวิธีการตรงหรือวิธีการทางอ้อมขั้นตอนแรกของการแปลงสมการควบคุมคือการแบ่งขอบเขต สำหรับปัญหาพื้นฐาน ให้พิจารณาปริมาตรควบคุมใน 1 มิติที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.4 จุดต่อ P เป็นจุดที่อยู่ตรงกลางปริมาตรควบคุม จุดต่อข้างเคียงกำหนดเป็น W และ E ผิวหน้าของปริมาตรควบคุมกำหนดเป็น w และ e ตามลำดับ ขอบเขตหรือผิวหน้าของปริมาตรควบคุมอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างจุดต่อข้างเคียง ดังนั้นแต่ละจุดต่อจะถูกล้อมรอบด้วยปริมาตรควบคุมหรือเซลล์



รูปที่ 2.2 ปริมาตรควบคุมรอบจุดต่อ P

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนสำคัญของระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องคือการแปลงสมการเคลื่อนย้ายไปสู่สมการแปลงรูป เมื่อหาปริพันธ์ของสมการการเคลื่อนย้ายในสมการภายใต้ปริมาตรควบคุม โดยไม่พิจารณาพจน์ของการก่อกำเนิด จะได้

$$(\rho u A \phi)_e = (\rho u A \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_w \quad (2.56)$$

เมื่อหาปริพันธ์ของสมการความต่อเนื่องจะได้

$$(\rho u A \phi)_e = (\rho u A \phi)_w = 0 \quad (2.57)$$

โดยที่ตัวแปร $F = \rho u$ และ $D = \Gamma / \delta x$ ถูกกำหนดเพื่อแสดงฟลักซ์การพาของมวลต่อหน่วยพื้นที่ (Convective mass flux) และฟลักซ์การแพร่ (Diffusion conductance) ที่ผิวหน้าของเซลล์ตามลำดับ กำหนดให้พื้นที่ของผิว $A_w = A_e = A$ สมการแปลงรูปสำหรับการพาและการแพร่กระจายที่เกิดจากการหาปริพันธ์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_e \phi_e - F_w \phi_w = D_e (\phi_E - \phi_P) = D_w (\phi_P - \phi_W) \quad (2.58)$$

และสมการความต่อเนื่องที่ได้มาจากการหาปริพันธ์สามารถเขียนได้เป็น

$$F_e - F_w = 0 \quad (2.59)$$

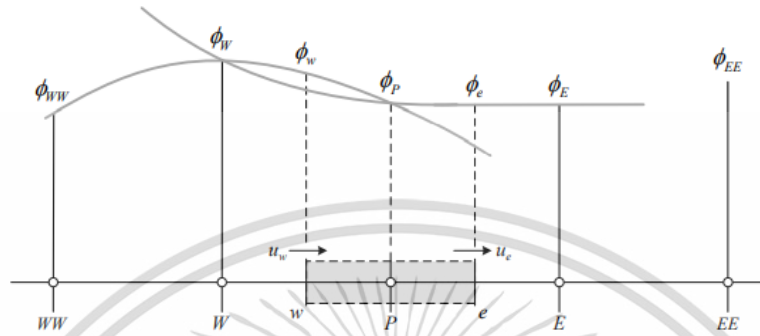
การแก้สมการจำเป็นต้องคำนวณค่าคุณสมบัติ ϕ ที่ผิวหน้า e และ w ด้วยวิธีการประมาณค่าคุณสมบัติที่ผ่านเข้าออกปริมาณควบคุม ซึ่งเนื้อหาส่วนถัดไปเป็นการแสดงระเบียบวิธี (Scheme) การประมาณค่าคุณสมบัติดังกล่าว

2.5.1 ระเบียบวิธี QUICK

การศึกษานี้ใช้ระเบียบวิธี QUICK (Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinetics) เพื่อประมาณค่าคุณสมบัติ ระเบียบวิธีนี้คิดขึ้นโดย Leonard ในปี 1979 ระเบียบวิธี QUICK (QUICK scheme) ใช้จุด 3 จุดที่อยู่ต้นกระแสน้ำไหล (Upstream) กับการประมาณค่าในช่วงกำลังสองถ่วงน้ำหนัก (Upstream-weighted quadratic interpolation) ที่ผิวหน้าเซลล์ค่าของคุณสมบัติที่ผิวหน้าเซลล์ได้จากฟังก์ชันกำลังสองที่ผ่านจุดต่อ 2 จุดที่คร่อมแต่ละด้านของผิวหน้าเซลล์ (Bracketing node) และอีก 1 จุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านต้นกระแส สำหรับกริดแบบสม่ำเสมอ (Uniform grid) ค่าของคุณสมบัติ ϕ ที่ผิวหน้าเซลล์ระหว่างจุดต่อที่ครอบผิวหน้าเซลล์ทั้ง 2 จุด คือ i และ $i-1$ กับจุดต่อต้นกระแส $i-2$ นั้นสามารถประมาณค่าโดย

$$\phi_{face} = \frac{6}{8}\phi_{i-1} + \frac{3}{8}\phi_i + \frac{1}{8}\phi_{i-2} \quad (2.60)$$



รูปที่ 2.3 เส้นประมาณของฟังก์ชันกำลังสอง

ระเบียบวิธี QUICK สำหรับปัญหาการพาและการแพร่กระจายใน 1 มิติสำหรับจุดต่อ P ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.40 เป็นการไหลไปในทิศทางที่เป็นบวก (Positive flow) เมื่อความเร็ว $u_w > 0$ ค่าของคุณสมบัติ ϕ ที่ผิวหน้าเซลล์ฝั่งตะวันตก w คือ $\phi_w = \frac{6}{8}\phi_w + \frac{3}{8}\phi_P + \frac{1}{8}\phi_{ww}$ โดยที่จุดต่อ w และ P คือจุดต่อที่ครอบผิวหน้า w ส่วน ww คือจุดต่อทางด้านต้นกระแส เมื่อความเร็ว $u_e > 0$ ค่าของคุณสมบัติ ϕ ที่ผิวหน้าเซลล์ฝั่งตะวันออก e คือ $\phi_e = \frac{6}{8}\phi_P + \frac{3}{8}\phi_E + \frac{1}{8}\phi_w$ โดยที่จุดต่อ P และ E คือจุดต่อที่ครอบผิวหน้า e ส่วน w คือจุดต่อทางด้านต้นกระแส สมการ ϕ_e และ ϕ_w จะถูกนำไปแทนในสมการแปลงรูปสำหรับการพาและการแพร่กระจายในสมการที่ 2.110 ต่อจากนั้นสมการจะถูกแก้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่กึ่งกลาง (Central coefficient) และสัมประสิทธิ์ข้างเคียง (Neighbor coefficient) สำหรับการไหลในทิศทางที่เป็นลบ (Negative flow) สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกัน ดังนั้น สมการแปลงรูปสำหรับการพาและการแพร่กระจายแบบ 1 มิติในรูปมาตรฐานตามระเบียบวิธี QUICK ที่รวมสัมประสิทธิ์เข้าไว้ด้วยกันเพื่อให้ครอบคลุมการไหลได้ทั้งทิศทางที่เป็นบวกและเป็นลบ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$a_P\phi_P = a_w\phi_w + a_E\phi_E + a_{ww}\phi_{ww} + a_{EE}\phi_{EE} \quad (2.61)$$

สัมประสิทธิ์ที่กึ่งกลางและสัมประสิทธิ์ข้างเคียงในสมการที่ 2.61 แสดงสรุปอยู่ในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่กึ่งกลางและสัมประสิทธิ์ข้างเคียงตามระเบียบวิธี QUICK

สัมประสิทธิ์ที่กึ่งกลาง	สูตร
a_p	$a_w + a_E + a_{ww} + a_{EE} + (F_c - F_w)$
สัมประสิทธิ์ข้างเคียง	
a_w	$D_w + \frac{6}{8}\alpha_w F_w + \frac{1}{8}\alpha_c F_c + \frac{3}{8}(1-\alpha_w)F_w$
a_{ww}	$-\frac{1}{8}\alpha_w F_w$
a_E	$D_c - \frac{3}{8}\alpha_c F_c - \frac{6}{8}(1-\alpha_c)F_c - \frac{1}{8}(1-\alpha_w)F_w$
a_{EE}	$\frac{1}{8}(1-\alpha_c)F_c$
หมายเหตุ	โดยที่ $\alpha_w = 1$ สำหรับ $F_w > 0$ และ $\alpha_c = 1$ สำหรับ $F_c > 0$ $\alpha_w = 0$ สำหรับ $F_w < 0$ และ $\alpha_c = 0$ สำหรับ $F_c < 0$

สำหรับระเบียบวิธีแบบ QUICK นั้น พลักซ์ที่ผิวหน้าเซลล์ถูกคำนวณโดยการประมาณค่าแบบยกกำลังสองระหว่างจุดที่ล้อมผิวหน้าและจุดต่อทางด้านต้นกระแสนวม ดังนั้นจึงมีความต่อเนื่องและสอดคล้องกับหลักอนุรักษ์ พลักซ์ที่ผ่านเข้าออกผิวหน้าเซลล์สมดุลกันตลอด เนื่องจากระเบียบวิธีนี้อยู่บนพื้นฐานของฟังก์ชันกำลังสอง ความแม่นยำจากความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตัดปลาย (Truncation error) อยู่ในลำดับที่ 3 ของอนุกรมเทย์เลอร์ บนกริดแบบสม่ำเสมอ ระเบียบ QUICK มีความแม่นยำกว่าวิธีผลต่างกลางหรือระเบียบวิธีแบบผสม (Hybrid scheme) ขั้นตอนสุดท้ายของระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องหลังจากผ่านกระบวนการแปลงสมการควบคุมด้วยระเบียบวิธี QUICK คือการแก้ระบบสมการพีชคณิตของชุดสมการแปลงรูปสำหรับการพาและการแพร่กระจาย ซึ่งมี 2 วิธี ได้แก่วิธีการตรงและวิธีการทางอ้อมหรือวิธีการทำซ้ำ ตัวอย่างของวิธีการตรงคือกฎของคราเมอร์ (Cramer's rule) และการกำจัดแบบเกาส์ (Gaussian elimination) วิธีเหล่านี้ใช้ทรัพยากรค่อนข้างมาก วิธีทำซ้ำมีพื้นฐานจากการประยุกต์ของลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหาอย่างง่ายโดยเริ่มจากการสมมติค่าของผลลัพธ์แล้วทำการคำนวณซ้ำจนนำไปสู่การลู่เข้าหาคำตอบ

2.6 ระเบียบวิธีการแก้ปัญหา

2.6.1 วิธีการคำนวณแบบ pressure-based approach

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์การไหลในสภาวะคงตัวด้วยวิธีการคำนวณแบบ pressure-based approach ซึ่งเดินที่ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์การไหลความเร็วต่ำแบบไม่อัดตัว (Low-speed incompressible flow) เพื่อแก้สมการการควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้นและมีความสัมพันธ์เกี่ยวโยงกับการคำนวณใช้วิธีการกระทำซ้ำเป็นรอบ จนกว่าคำตอบจะลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง ในปัจจุบันวิธีการคำนวณแบบ pressure-based ถูกเพิ่มขีดความสามารถในการวิเคราะห์การไหลที่มีความเร็วสูงและอัดตัวได้ (High-speed compressible flow)

เครื่องมือคำนวณแบบ pressure-based solver มีวิธีการคำนวณ 2 แบบ ได้แก่ การคำนวณแบบแยก (Segregated algorithm) และการคำนวณแบบรวม (Coupled algorithm) การคำนวณแบบแยก ใช้ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหาที่ซึ่งสมการควบคุมถูกหาคำตอบอย่างเป็นลำดับหรือแยกการคำนวณออกจากกัน โดยจะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสมการโมเมนตัมเพื่อให้ได้ความเร็วแต่ละตัวออกมา ก่อนหลังจากนั้นจึงคำนวณสมการแปลงรูปของความต่อเนื่อง (Discretized continuity equation) ในขณะที่การคำนวณแบบรวม การคำนวณถูกทำควบคู่กันไป โดยรวมเอาการคำนวณสมการโมเมนตัมและสมการแปลงรูปของความต่อเนื่องไว้ในขั้นตอนเดียว ข้อได้เปรียบสำหรับคำนวณแบบแยก อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ใช้หน่วยความจำเพิ่มขึ้นมากถึง 2 เท่าเมื่อเทียบกับวิธีการคำนวณแบบแยก เนื่องจากต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บทั้งสมการแปลงรูปโมเมนตัมและความต่อเนื่องเพื่อที่จะแก้สมการหาสนามความเร็วและสนามความดันพร้อมกัน ในขณะที่วิธีการคำนวณแบบแยกจะเก็บสมการไว้ในหน่วยความจำทีละสมการระเบียบวิธีการคำนวณแบบ Pressure-based แบบแยกกันคำนวณ หรือ Pressure-based segregated algorithm ตัวแปรแต่ละตัวในสมการควบคุม เช่น องค์ประกอบของความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ จะถูกทยอยหาคำตอบทีละตัว ทำให้วิธีนี้หน่วยความจำถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสมการแปลงรูปถูกเก็บในหน่วยความจำเป็นครั้งไป อย่างไรก็ตาม การลู่เข้าสู่คำตอบค่อนข้างช้า เมื่อสมการถูกหาคำตอบด้วยวิธีการนี้ ขั้นตอนการทำซ้ำด้วยระเบียบวิธีของการคำนวณด้วยระเบียบวิธี pressure-based แบบแยกกันคำนวณ เป็นดังต่อไปนี้

1. ปรับค่าของคุณสมบัติล่าสุดของของไหลให้เป็นปัจจุบัน เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะ ความหนืดทังเกน
2. แก้สมการโมเมนตัมทีละค่าจากค่าของความดันและฟลักซ์ของมวลที่ผิวหน้าเซลล์ที่ถูกปรับปรุงก่อนหน้านี้เพื่อให้ได้ค่าความเร็วในสนามการไหล
3. แก้สมการแปลงรูปของความต่อเนื่องในรูปแบบของสมการค่าแก้ความดัน (Pressure correction equation) จากสนามความเร็วและฟลักซ์ของมวลที่ได้มาก่อนหน้า
4. ปรับแก้ค่าฟลักซ์ของมวลที่ผิวหน้าเซลล์ ความดัน และสนามความเร็วจากตัวแก้ความดันที่ได้จากขั้นตอนที่ 3
5. แก้สมการสำหรับสเกลาร์อื่น ๆ ด้วยค่าปัจจุบันที่ได้จากการคำนวณ
6. ตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของสมการควบคุม

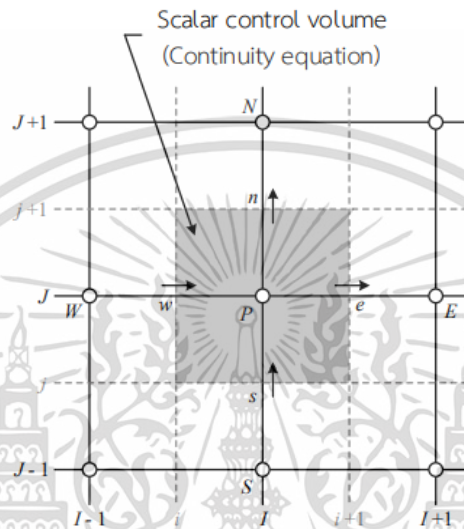
ขั้นตอนเหล่านี้จะกระทำไปจนกว่าคำตอบจะถึงเกณฑ์ของการลู่เข้าสู่คำตอบ

2.6.2 ความสัมพันธ์ของความดันและความเร็วกับระเบียบวิธีแบบ SIMPLE

ระเบียบวิธีแบบ SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) เป็นระเบียบวิธีที่คิดขึ้นโดย Patankar and Spalding ถูกใช้สำหรับหาความสัมพันธ์ของความดันและความเร็ว (Pressure-velocity coupling) กรณีการไหลแบบไม่อัดตัว ความดันจะไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของไหล เพราะความหนาแน่นมีค่าคงที่ ความดันจึงเกี่ยวข้องกับความเร็วในสนามการไหล หากทราบความดันที่ทุกจุดบนสนามการไหลแล้ว ค่าความเร็วที่ได้จากสมการโมเมนตัมจะสอดคล้องกับความเร็วในสมการความต่อเนื่อง การคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วด้วยระเบียบวิธีแบบ SIMPLE นั้นใช้ระเบียบวิธีการคำนวณแบบ pressure-based แบบแยกกันคำนวณ เริ่มจากการสมมติค่าสนามความดัน ทำการหาคำตอบของสมการโมเมนตัมและสมการค่าแก้ของสนามความดันที่แปลงมาจากสมการความต่อเนื่อง เพื่อนำค่าแก้ดังกล่าวไปปรับปรุงค่าของสนามความดันและสนามความเร็ว ต่อจากนั้นนำสนามความเร็วและสนามความดันที่ได้ใหม่นั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาคำตอบของสมการการแปลงรูปดังกล่าวกระทำได้โดยกระบวนการทำซ้ำ หากกำหนดสนามความดัน p ให้กับสมการแปลงรูปโมเมนต์สำหรับความเร็ว u และ v จะสามารถหาสนามความเร็วได้ หากสนามความดันมีความถูกต้องผลเฉลยของสนามความเร็วจะเป็นไปตามสมการความต่อเนื่อง นอกจากการพิจารณาสมการโมเมนต์ที่ได้กล่าวไปแล้ว สนามความเร็วยังต้องสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง ปริมาตรควบคุมของปริมาณสเกลาร์ในรูปที่ 2.5 ถูกใช้สำหรับการแปลงสมการความต่อเนื่องให้เป็นสมการ

$$\left[(\rho u A)_{i+1,j} - (\rho u A)_{i,j} \right] + \left[(\rho v A)_{i,j+1} - (\rho v A)_{i,j} \right] = 0 \quad (2.64)$$



รูปที่ 2.5 ปริมาตรควบคุมของปริมาณสเกลาร์สำหรับการแปลงสมการความต่อเนื่อง

ระเบียบวิธีแบบ SIMPLE เริ่มต้นจากกระบวนการประเมินค่าสนามความดันสมมุติ และเพื่อที่จะหาว่าสนามความเร็วตอบสนองอย่างไรกับสนามความดัน สมการโมเมนต์ในสมการที่ 2.65 และ 2.66 จึงถูกแปลงรูปเพื่อที่จะสามารถแทนค่าความดันสมมุติสำหรับใช้สำหรับหาค่าประกอบความเร็วสมมุติ (Guess velocity) u^* และ v^* ดังสมการต่อไปนี้

$$a_{i,j} u_{i,j}^* = \sum a_{nb} u_{nb}^* + (p_{i-1,j}^* - p_{i,j}^*) A_{i,j} + b_{i,j} \quad (2.65)$$

$$a_{i,j} v_{i,j}^* = \sum a_{nb} v_{nb}^* + (p_{i,j-1}^* - p_{i,j}^*) A_{i,j} + b_{i,j} \quad (2.66)$$

เมื่อ p^* คือความดันสมมุติ (Guess pressure) ความสัมพันธ์ของค่าความดันที่ถูกต้อง (Correct pressure) p กำหนดจากความสัมพันธ์

$$p = p^* + p' \quad (2.67)$$

เมื่อ p' คือตัวปรับแก้ความดัน (Pressure correction) ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างความดันที่ถูกต้องกับความดันสมมุติ ในทำนองเดียวกันความเร็วสามารถแสดงความสัมพันธ์คล้ายคลึงกันกับความดันคือ $u = u^* + u'$, $v = v^* + v'$ และ $w = w^* + w'$ เมื่อตัวแก้ความเร็ว (Velocity correction) u', v' และ w' คือความแตกต่างระหว่างความเร็วที่ถูกต้อง (Correct velocity) u, v และ w กับค่าความเร็วสมมุติ u^*, v^* และ w^* จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ถูกต้อง ความเร็วสมมุติและตัวแก้ความเร็ว สนามความเร็วที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณค่าโดยตัดพจน์ $a_{nb}u_{nb}^*$ และ $a_{nb}v_{nb}^*$ ออกจากสมการ เนื่องจากพจน์เหล่านี้ ไม่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดสำหรับการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีแบบ SIMPLE สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$u_{i,j} = u_{i,j}^* + \frac{A_{i,j}}{a_{i,j}} (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \quad (2.68)$$

$$v_{i,j} = v_{i,j}^* + \frac{A_{i,j}}{a_{i,j}} (p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) \quad (2.69)$$

$$u_{i+1,j} = u_{i+1,j}^* + \frac{A_{i+1,j}}{a_{i+1,j}} (p'_{i,j} - p'_{i+1,j}) \quad (2.70)$$

$$v_{i,j+1} = v_{i,j+1}^* + \frac{A_{i,j+1}}{a_{i,j+1}} (p'_{i,j} - p'_{i,j+1}) \quad (2.71)$$

สมการที่ 2.68-2.71 แสดงถึงความเร็วสมมุติตอบสนองต่อตัวแก้ค่าความดันเพื่อทำให้เกิดค่าความเร็วที่ถูกต้อง เมื่อแทนความเร็วที่ถูกต้องลงในสมการแปลงรูปความต่อเนื่องในสมการที่ 2.72 และจัดรูปใหม่ให้อยู่ในรูปของตัวแก้ค่าความดัน หรือที่เรียกสมการแก้ค่าความดัน (Equation for pressure correction) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ

$$a_{i,j} p'_{i,j} = a_{i+1,j} p'_{i+1,j} + a_{i-1,j} p'_{i-1,j} + a_{i,j+1} p'_{i,j+1} + a_{i,j-1} p'_{i,j-1} + b'_{i,j} \quad (2.72)$$

โดยที่ $a_{i,j} = a_{i+1,j} + a_{i-1,j} + a_{i,j+1} + a_{i,j-1}$ ซึ่งสัมพันธ์แต่ละตัวมีค่าดังตารางที่ 2.2 พจน์ $b'_{i,j}$ บ่งชี้ถึงความไม่สมดุลของมวล เนื่องจากสนามความเร็ว u^* และ v^* ที่ไม่ถูกต้อง

ตาราง 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแก้ค่าความดัน

สัมประสิทธิ์	สูตร
$a_{i+1,j}$	$(\rho u A)_{i+1,j}$
$a_{i-1,j}$	$(\rho u A)_{i,j}$
$a_{i,j+1}$	$(\rho v A)_{i,j+1}$
$a_{i,j-1}$	$(\rho v A)_{i,j}$
$b'_{i,j}$	$(\rho u^* A)_{i,j} - (\rho u^* A)_{i+1,j} + (\rho v^* A)_{i,j} - (\rho v^* A)_{i,j+1}$

สมการแก้ค่าความดันอาจไม่ลู่เข้าสู่คำตอบในกระบวนการทำซ้ำ หากปราศจากค่าตัวประกอบภายใต้การผ่อนคลาย (Under-relaxation factor) ความดันค่าใหม่ที่ถูกปรับปรุง p^{new} สามารถเขียนเป็นสมการ

$$p^{new} = p^* + \alpha_p p' \quad (2.73)$$

โดยที่ α_p เป็นค่าตัวประกอบภายใต้การผ่อนคลายความดัน (Pressure under-relaxation factor) ค่า α_p ที่มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงไม่มีการปรับปรุงค่าความดัน ซึ่งไม่ใช่สิ่งที่ต้องการ ดังนั้นการปรับปรุงค่าโดยใช้ค่า α_p อยู่ระหว่าง 0 กับ 1 จึงทำให้ความดันสมมุติเป็นสัดส่วนกับตัวแก้ค่าความดัน อย่างไรก็ตาม หากกำหนดให้สนามความดันสมมุติ p^* ค่อนข้างห่างจากคำตอบสุดท้าย ตัวแก้ค่าความดัน p' จะมีค่ามากกว่าจะทำให้การคำนวณมีความเสถียร ดังนั้นเพื่อให้การสมมุติค่าความดันห่างจากคำตอบที่แท้จริงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จะทำให้กระบวนการทำซ้ำเดินต่อไปข้างหน้าและทำให้การคำนวณมีความเสถียร การกำหนดค่าตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบภายใต้การผ่อนปรนสำหรับความดันและค่าอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับหาคำตอบของปัญหาการไหลในกระบวนการทำซ้ำที่ถูกกำหนดในโปรแกรม ANSYS Fluent ควรเริ่มจากการใช้ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมก่อน หากค่าเริ่มต้นไม่สามารถทำให้การคำนวณลู่ออกหรือมีความไม่เสถียรในระหว่างการคำนวณ การปรับค่าตัวประกอบภายใต้ปัญหาของการไหล จากประสบการณ์จากการศึกษาด้านการไหลที่ผ่านมาจะสามารถช่วยในการกำหนดค่าเหล่านี้เพื่อการหาคำตอบของปัญหาได้

ระเบียบวิธีแบบ SIMPLE สามารถอธิบายเป็นลำดับได้ดังนี้

1. สมมุติค่าสนามความดันโดยกำหนดค่าความดันสมมุติ p^*
2. แก้สมการแปลงรูปของโมเมนตัม โดยการใช้ค่าความดันสมมุติ p^* เพื่อให้ได้ค่าความเร็ว u^*, v^* และ w^*
3. คำนวณสมการแปลงรูปความต่อเนื่องในรูปของตัวแก้ความดัน p'
4. คำนวณค่าความดันที่ถูกต้อง p ใหม่ ตามสมการ $p = p^* + p'$ โดยเพิ่ม p' ไปรวมกับ p^*
5. คำนวณสนามความเร็ว u, v และ w และ u^*, v^* และ w^* โดยใช้สมการตัวแก้ความเร็ว (Velocity correction formula)
6. แก้สมการแปลงรูปของคุณสมบัติ ϕ อื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ค่าที่เกี่ยวข้องกับความปั่นป่วนที่มีผลต่อคุณสมบัติของของไหล
7. นำค่าความดันที่ถูกต้อง p เป็นค่าความดันสมมุติ p^* อันใหม่ ย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2 และทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดจนกระทั่งได้คำตอบที่อยู่ในเกณฑ์ของการลู่ออกที่กำหนด

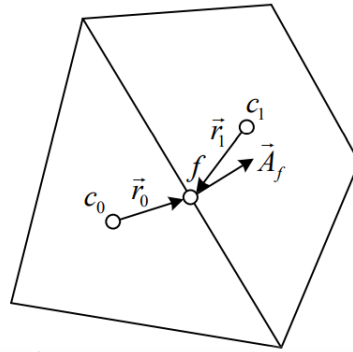
2.6.3 ระเบียบวิธีการประมาณค่าความดัน

เมื่อใช้ระเบียบวิธีการคำนวณแบบ pressure-based สำหรับการวิเคราะห์การไหลความเร็วต่ำแบบไม่อัดตัวในสภาวะคงตัวแล้ว สมการแปลงรูปโมเมนตัมต้องการค่าความดันของผิวหน้าที่อยู่ระหว่างเซลล์ c_0 และ c_1 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation scheme) ถูกนำมาใช้คำนวณความดันที่ผิวหน้าเซลล์จากค่าที่ศูนย์กลางเซลล์ ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงสำหรับความดัน (Pressure Interpolation scheme) ที่ผิวหน้าเซลล์ใช้ระเบียบวิธีการประมาณค่าแบบเฉลี่ยกลางอันดับสอง (Central second-order interpolation) การประมาณค่าในช่วงของความดันที่ผิวหน้าเซลล์ p_f (Face pressure) ในสมการโมเมนตัมกำหนดโดย

$$P_f = \frac{1}{2}(P_{c_0} + P_{c_1}) + \frac{1}{2}(\nabla P_{c_0} \vec{r}_{c_0} + \nabla P_{c_1} \vec{r}_{c_1}) \quad (2.74)$$

ตัวห้อย 0 และ 1 ใช้สำหรับอ้างอิงเซลล์ที่ใช้ผิวหน้า f ร่วมกับ P_{c_0} และ P_{c_1} คือค่าความดันที่เซลล์ C_0 และ C_1 ตามลำดับ ∇P_{c_0} และ ∇P_{c_1} คือเกรเดียนต์ของความดันที่เซลล์ C_0 และ C_1 ส่วน \vec{r}_{c_0} และ \vec{r}_{c_1} คือเวกเตอร์ตำแหน่งจากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์ C_0 และ C_1 ไปยังจุดเซนทรอยด์ของผิวหน้าเซลล์ที่มีพื้นที่ \vec{A}_f

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

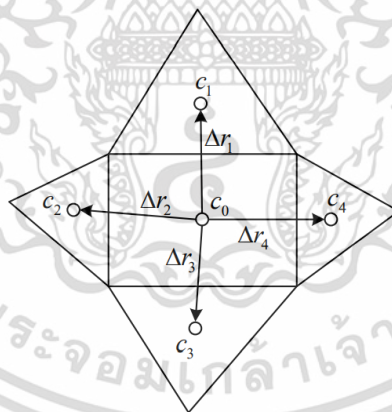


รูปที่ 2.6 ปริมาตรควบคุมที่ใช้แสดงการแปลงสมการการเคลื่อนย้ายปริมาณสเกลาร์

2.6.4 วิธีการประมาณค่าเกรเดียนต์

เกรเดียนต์ไม่เพียงแต่ใช้สำหรับหาค่าของสเกลาร์ที่ผิวหน้าเซลล์เท่านั้น แต่ยังใช้คำนวณการแพร่และอนุพันธ์ของความเร็ว เกรเดียนต์ของค่าคุณสมบัติ $\nabla\phi$ ถูกใช้เพื่อแปลงพจน์ของการพาและการแพร่ในสมการอนุรักษ์ของการไหล การประเมินค่าเกรเดียนต์ด้วยกำลังสองน้อยสุดจากข้อมูลที่ล้อมรอบแต่ละจุดต่อ (Least squares cell-based gradient evaluation) ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น จากรูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงค่าระหว่างเซลล์ c_0 และ c_i ตามทิศทางของเวกเตอร์ Δr_i จากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์ c_0 และ c_i กำหนดโดย

$$(\nabla\phi)_{c_0} \cdot \Delta r_i = \phi_{c_i} - \phi_{c_0} \quad (2.75)$$



รูปที่ 2.7 การประเมินเกรเดียนต์จากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์

หากเขียนสมการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันสำหรับแต่ละเซลล์ c_0 ระบบสมการที่กระชับขึ้นสามารถเขียนเป็น

$$[J](\nabla\phi)_{c_0} = \Delta\phi \quad (2.76)$$

เมื่อ $[J]$ คือเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ (Coefficient matrix) การหาเกรเดียนต์ของเซลล์ $\nabla\phi_0 = \phi_x \hat{i} + \phi_y \hat{j} + \phi_z \hat{k}$ ทำได้โดยการแก้ระบบสมการที่สัมประสิทธิ์ไม่เป็นเมทริกซ์จัตุรัสด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด ระบบสมการเชิงเส้นสามารถแก้ด้วยวิธีการแยกสัมประสิทธิ์ของเมทริกซ์ตามกระบวนการ Gram-Schmidt เป็นเอกลักษณ์หรือใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดหรือใช้การแก้เชิงเส้นเพื่อการคูณค่าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้กับระบบสมการที่กระชับขึ้นตามการวิเคราะห์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schmidt และการแยกสัมประสิทธิ์นี้ทำให้ได้เมทริกซ์ถ่วงน้ำหนัก (Matrix of weights) สำหรับแต่ละเซลล์ ดังนั้นสำหรับวิธีการใช้จุดศูนย์กลางของเซลล์นี้ทำให้มีตัวถ่วงน้ำหนักน้อยสุด (Least square weight) จำนวน 3 ตัว คือ $W_{i_0}^x, W_{i_0}^y$ และ $W_{i_0}^z$ ที่ถูกกำหนดสำหรับแต่ละผิวหน้าของเซลล์ c_0 ในการคำนวณเกรเดียนต์ ดังนั้นเกรเดียนต์ที่จุดศูนย์กลางเซลล์สามารถคำนวณโดยการคูณตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก (Weight factors) กัน ผลต่างของเวกเตอร์ $\Delta\phi = \phi_{c_i} - \phi_{c_0}$ ได้สมการดังต่อไปนี้

$$(\phi_x)_{c_0} = \sum_{i=1}^n W_{i_0}^x (\phi_{c_i} - \phi_{c_0}) \quad (2.77)$$

$$(\phi_y)_{c_0} = \sum_{i=1}^n W_{i_0}^y (\phi_{c_i} - \phi_{c_0}) \quad (2.78)$$

$$(\phi_z)_{c_0} = \sum_{i=1}^n W_{i_0}^z (\phi_{c_i} - \phi_{c_0}) \quad (2.79)$$

ทั้งนี้ การประมาณค่าเกรเดียนต์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและลู่เข้าสู่คำตอบได้เร็วกว่าการประมาณค่าเกรเดียนต์ด้วยวิธีอื่น ๆ

2.7 การเผาไหม้

เชื้อเพลิงหมายถึง สารที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนแล้วปล่อยพลังงานความร้อนและแก๊สไอเสียออกมา สารที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีควรรอยู่ในลักษณะดังต่อไปนี้

1. หาได้ง่ายและมีจำนวนมาก
2. ราคาถูก
3. เก็บรักษาและขนส่งได้ง่าย
4. ให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูง

เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะทางกายภาพ (Physical) คือ

- 1) เชื้อเพลิงแข็ง เป็นเชื้อเพลิงที่หาได้ง่าย และมีราคาถูก แต่ไม่นิยม แต่ไม่นิยมนำมาใช้เท่าที่ควร เพราะต้องการเนื้อที่ในการเผาไหม้มาก การเผาไหม้มีแก๊สไอเสียมาก องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิง คือ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้น โดยเฉพาะกำมะถันจะมีความชื้นมากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น
- 2) เชื้อเพลิงเหลว ส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ องค์ประกอบหลักคือ ธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน แต่จะมีกำมะถันบ้างเล็กน้อย บางที่เรียกกันว่าเป็นสารไฮโดรคาร์บอน
- 3) เชื้อเพลิงแก๊ส เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่เป็นแก๊สธรรมชาติหรือแก๊สที่เกิดจากปิโตรเลียมส่วนใหญ่ ซึ่งมีธาตุที่สำคัญ คือ มีเทน ประมาณ 80% - 90% และอีเทน 5% - 15% นอกจากนั้นก็เป็นจำพวกแก๊สโปรเพน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ในเชื้อเพลิงแข็ง และเชื้อเพลิงเหลว ชนิดต่าง ๆ มักจะนิยมวิเคราะห์ในรูปของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ultimate analysis) ส่วนพวกเชื้อเพลิงแก๊สนิยมวิเคราะห์ในรูปของปริมาตรหรือโมลา

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง

ส่วนประกอบเปอร์เซ็นต์โดยมวล	ไม้	พีท	บิทูมินัส	แอนทราไซต์
คาร์บอน	50	60	85	94
ไฮโดรเจน	6	6	5	3
ออกซิเจน	43	32	6	2
ค่าความร้อน (kJ/kg)	16000	18000	32000	34000

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลว

ส่วนประกอบเปอร์เซ็นต์โดยมวล	น้ำมันเบนซิน	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเตา
คาร์บอน	85	86	86
ไฮโดรเจน	14	13	12
ค่าความร้อน (kJ/kg)	45000	44000	43000

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแก๊ส

ส่วนประกอบเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	แก๊สธรรมชาติ	แก๊สถ่านหิน
มีเทน	93	20
คาร์บอนมอนอกไซด์	1	18
ไฮโดรเจน	-	30
ค่าความร้อน (kJ/m ³)	35000	19000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 โครงสร้างของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน

เชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน มักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้มาจากน้ำมันดิบ จะมีโมเลกุลขนาดเล็กที่สุด คือ มีเทน ซึ่งมีอะตอมโมเลกุลของคาร์บอนเพียง 1 ตัว ไปจนถึงขนาดใหญ่ ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนถึง 80 ตัว ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 6 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) กลุ่มพาราฟิน (Paraffin Series or Alkanes series) เป็นไฮโดรคาร์บอนที่อิมตัวด้วยไฮโดรเจน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นโซ่เปิด (open - chain) บางทีก็เรียกว่าเป็น อัลลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbons) มีสูตรทั่วไปว่า C_nH_{2n+2} (n = จำนวนอะตอมของธาตุคาร์บอนในโมเลกุล) เช่น

CH_4	มีเทน (methane)
C_2H_6	อีเทน (ethane)
C_3H_8	โพรเพน (propane)
C_4H_{10}	บิวเทน (butane)
C_5H_{12}	เพนเทน (pentane)
C_6H_{14}	เฮกเซน (hexane)
C_7H_{16}	เฮปเทน (heptane)
C_8H_{18}	ออกเทน (octane)

2) กลุ่มโอเลฟิน กลุ่มนี้มีสูตรโมเลกุล C_nH_{2n} และมีโครงสร้างการเกาะเกี่ยวของคาร์บอนเป็นลักษณะห่วงโซ่ตรงเช่นเดียวกับกลุ่มพาราฟิน แต่จะมีพันธะระหว่างบางคู่เป็น 2 แขน มีสัญลักษณ์ C-C เป็นการบอกให้ทราบว่าสารนั้นยังจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนในกลุ่มโอเลฟิน จะมีน้อยกว่าในกลุ่มพาราฟินโดยที่จำนวนคาร์บอนเท่ากัน สารประกอบประเภทไม่อิ่มตัวนี้อาจทำให้อิ่มตัวได้โดยการเติมไฮโดรเจนเข้าไป ในการเรียกชื่อสารประกอบกลุ่มโอเลฟินนี้จึงเรียกชื่อลงท้ายด้วย และจะบอกตัวเลขไว้ข้างหน้าเพื่อบอกให้ทราบถึงตำแหน่งของคาร์บอนที่ไม่อิมตัว

3) กลุ่มไดโอเลฟิน สารประกอบกลุ่มนี้เป็นพวกโอเลฟินชนิดพิเศษ

โมเลกุล C_nH_{2n-2} โดยมีพันธะของคาร์บอนเป็นชนิดพันธะคู่ เป็นสารประกอบที่ไม่อิมตัวและมีสูตรมักจะไม่ค่อยคงสภาพเดิม ถ้าเก็บเอาไว้มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนเป็นคราบยางเหนียวตกตะกอนสะสมอยู่ ตัวอย่างสารประกอบประเภทนี้ ได้แก่ สารบิวตาไดน (Butadiene)

4) กลุ่มเนฟทีน (Naphthene Series) หรือไซโคลพาราฟินเป็นสารอิมตัวและมีโครงสร้างเป็นวงแหวน (Ring Structure) มีสูตรโมเลกุลเป็น C_nH_{2n} เช่น สารไซโคลบิวเทน (Cyclobutene) ไซโคลโพรเพน (Cyclopropane) โครงสร้างของคาร์บอนจะเกาะเกี่ยวระหว่างอะตอมต่ออะตอมของมัน เป็นแบบพันธะเดี่ยว (Single Bond)

5) กลุ่มแอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบประเภทที่มีอะตอมของคาร์บอนเกาะเกี่ยว 6 อะตอม ในลักษณะวงแหวน เป็นสารประกอบพวกที่ไม่มีอิมตัวมีกลิ่นหอมสูตรโมเลกุลของสารประกอบกลุ่มนี้ คือ C_6H_{12} ตัวอย่างเช่น สารประกอบที่มีชื่อเบนซีน (Benzene) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล

6) แอลกอฮอล์ (Alcohols) เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ที่ยังมีส่วนของ ออกซิเจนเหลืออยู่ธรรมดาจะไม่รวมอยู่ในน้ำมันดิบ เป็นสารประกอบอิมตัวมีโครงสร้างเป็นลูก ไซแบ่งออกเป็น 4 จำพวก คือ

ก) เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol)

ข) เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)

ค) โพรพิลแอลกอฮอล์ (Propyl Alcohol)

ง) บิวเทนอลแอลกอฮอล์ (Butanol Alcohol)

แอลกอฮอล์ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีมีค่าตัวเลขออกเทน (Octane number) สูง

2.7.2 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นปฏิกิริยาทางเคมี เชื้อเพลิงถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนที่ใช้มีเชื้อเพลิง ถ้าพิจารณาองค์ประกอบของอากาศในบรรยากาศทั่วไปประกอบด้วยโมลอากาศได้แก่ ออกซิเจน 20.95 % ไนโตรเจน 78.10% อาร์กอน 0.92 % ที่คาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม นีออน และไฮโดรเจน ทฤษฎีการเผาไหม้ ปฏิกิริยาทางเคมีอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ความร้อนปล่อยออก (Exothermic)

2. ดูดซึมความร้อนไว้ (Endothermic)

การเผาไหม้ที่ดีหรือการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ก็คือ การเผาไหม้ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถทำให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าแคลอรีพีตของเชื้อเพลิง และผลผลิตจากการเผาไหม้ (combustion products หรือ fuel gases) จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำปริมาณของเชื้อเพลิง และออกซิเจนที่ใช้จะต้องได้อัตราส่วนที่พอเหมาะ ในการที่จะทราบว่าการเผาไหม้นั้นเป็นไปอย่างสมบูรณ์มากน้อยเพียงใดหรือไม่นั้น จำเป็นต้องใช้สมการเคมีเพื่อศึกษาถึงลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบบเอ็กโซเทอร์มิก (exothermic) หรือเ็นโดเทอร์มิก (endothermic) คือ ให้ความร้อนออกมาหรือดูดความร้อนไว้ (absorption) โดยทั่วไปไปปฏิกิริยาการเผาไหม้จะให้ความร้อนออกมา แต่ปฏิกิริยาย้อนกลับ (reverse reaction) จะดูดซับความร้อนออกจากการผลิตจากการเผาไหม้การวิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้จัดแบ่งเป็นส่วนที่ช่วยในการเผาไหม้ คือ ออกซิเจนประมาณ 21 ที่เหลือคิดเป็นไนโตรเจนประมาณ 79 % ดังนั้นถ้าพิจารณาแต่ละโมลของออกซิเจนจะพบว่า



2.7.3 สมการการเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric combustion)

กล่าวถึงปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ก็คือ ในน้ำมันเชื้อเพลิงหนึ่งๆคาร์บอนทั้งหมดเผาไหม้เป็น CO_2 ไฮโดรเจนทั้งหมดเผาไหม้เป็น H_2O และ

กำหนดเผาไหม้เป็น SO_2 บางที่เรียกว่า อากาศทางทฤษฎี (theoretical air) ในขบวนการเผาไหม้สามารถทำความเข้าใจสมการง่ายๆ โดยแบ่งออก ดังนี้

1) องค์ประกอบทำปฏิกิริยาต่อกันก่อนจะดำเนินการเผาไหม้ เรียกว่า ตัวทำปฏิกิริยา (Reactant)

2) องค์ประกอบที่ได้จากการเผาไหม้ เรียกว่า ผลปฏิกิริยา (Product)

หลักเกณฑ์การเขียนปฏิกิริยาการเผาไหม้ทำได้ดังนี้ จะต้องสมดุลแต่ละธาตุจากสมการปฏิกิริยาเคมีค้ำช่าย และขวา

2) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะได้ CO_2 , H_2O และ SO_2

3) การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนเหลือ ได้แก่ แก๊ส CO , H_2 และ OH แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ แต่ต้องนำมาสมดุลสมการ เพื่อความถูกต้องของสมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะไม่เหลือออกซิเจน แต่กรณีออกซิเจนเหลือถือว่าเป็นปริมาณอากาศส่วนเกิน (excess air)

4) การเผาไหม้ด้วยอากาศส่วนเกิน มวลของอากาศที่คำนวณได้ตามทฤษฎีนั้น

เป็นปริมาณอากาศที่เชื้อเพลิงต้องการจริง แต่ อากาศย่อมมีการรั่วไหลไปในระบบทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนเผาไหม้ไม่ได้เนื่อง จากขาดอากาศ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นการเผาไหม้จึงจำเป็นต้องให้มีอากาศเกินจากที่คำนวณได้

ทางทฤษฎี อากาศที่เกินนี้เรียกว่า " อากาศส่วนเกิน Excess air " ปริมาณของอากาศที่เกินขึ้นอยู่กับสภาพการเผาไหม้และลักษณะของเชื้อเพลิง

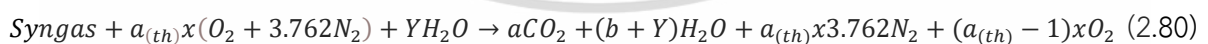
อากาศส่วนเกิน50% อากาศทางทฤษฎี 150%

อากาศส่วนเกิน100% อากาศทางทฤษฎี 200%

อากาศส่วนเกิน 200 % อากาศทางทฤษฎี 300%

ฉะนั้นการเขียนสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้ กรณีอากาศส่วนเกินสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

2.7.4 สมการการเผาไหม้ขึ้นแก๊ส (Combustion equation)



2.7.5 อุณหภูมิเปลวอะเดียบาติก (adiabatic flame temperature)

อุณหภูมิที่เป็นผลมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องมีการทำงาน การถ่ายเทความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนไหวหรือพลังงานที่มีศักยภาพ อุณหภูมิสูงกว่ากระบวนการความดันคงที่เนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานเพื่อเปลี่ยนปริมาตรของระบบ

$$Q - W = H_p - H_R \quad (2.81)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_p - H_R = 0 \quad (2.82)$$

2.7.6 กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

ในกรณีที่ไม่มีการทำปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ มวลของสารก่อนหนึ่งย่อมคงที่ หรือ หากมีการทำปฏิกิริยาก็ย่อมมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไป จะได้มวลรวมของอากาศในบรรยากาศเท่ากับมวลอากาศแห้งบวกกับมวลไอน้ำในบรรยากาศ ดังสมการที่ (2.83)

$$\dot{m}_t = \dot{m}_a + \dot{m}_v \quad (2.83)$$

$$(\rho_t Q_t) = (\rho_a Q_a) + (\rho_v Q_v) \quad (2.84)$$

2.7.7 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสีย (Specific Heat Capacity of Exhaust gas)

แก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้จะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ซึ่งแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จะมีสัดส่วนของโมลเปลี่ยนตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

$$Cp_{ex} = \frac{N_{H_2O}}{N_t} Cp_{H_2O} + \frac{N_{CO_2}}{N_t} Cp_{CO_2} + \frac{N_{N_2}}{N_t} Cp_{N_2} + \frac{N_{O_2}}{N_t} Cp_{O_2} \quad (2.85)$$

2.7.8 กฎของดอลตัน (Dalton's Law of partial pressure)

ความดันรวมของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกันจะเท่ากับผลรวมของความ ย่อยของแก๊สต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้นๆ ความดันรวมในบรรยากาศจะมีค่าเท่ากับ ความดันย่อยของอากาศแห้งบวกกับความดันไอน้ำในบรรยากาศ

$$P_t = P_a + P_v \quad (2.86)$$

$$\frac{N_v}{N_t} = \frac{P_v}{P_t} \quad (2.87)$$

2.7.9 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนของ Absolute Humidity ต่อ Absolute Humidity ที่เป็นไปได้สูงสุด (ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกอากาศปัจจุบัน) การอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์หมายความว่าอากาศเต็มไปด้วยไอน้ำและไม่สามารถกักเก็บน้ำหรือไอน้ำได้อีก ซึ่งที่ 100% RH ทำให้เกิดฝนได้ แต่ไม่ได้หมายความว่า Humidityจะต้องเป็น 100 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้ฝนตก

$$P_v = P_g \phi \quad (2.88)$$

$$\omega = \frac{0.622 \phi P_g}{P_t - P_g \phi} \quad (2.89)$$

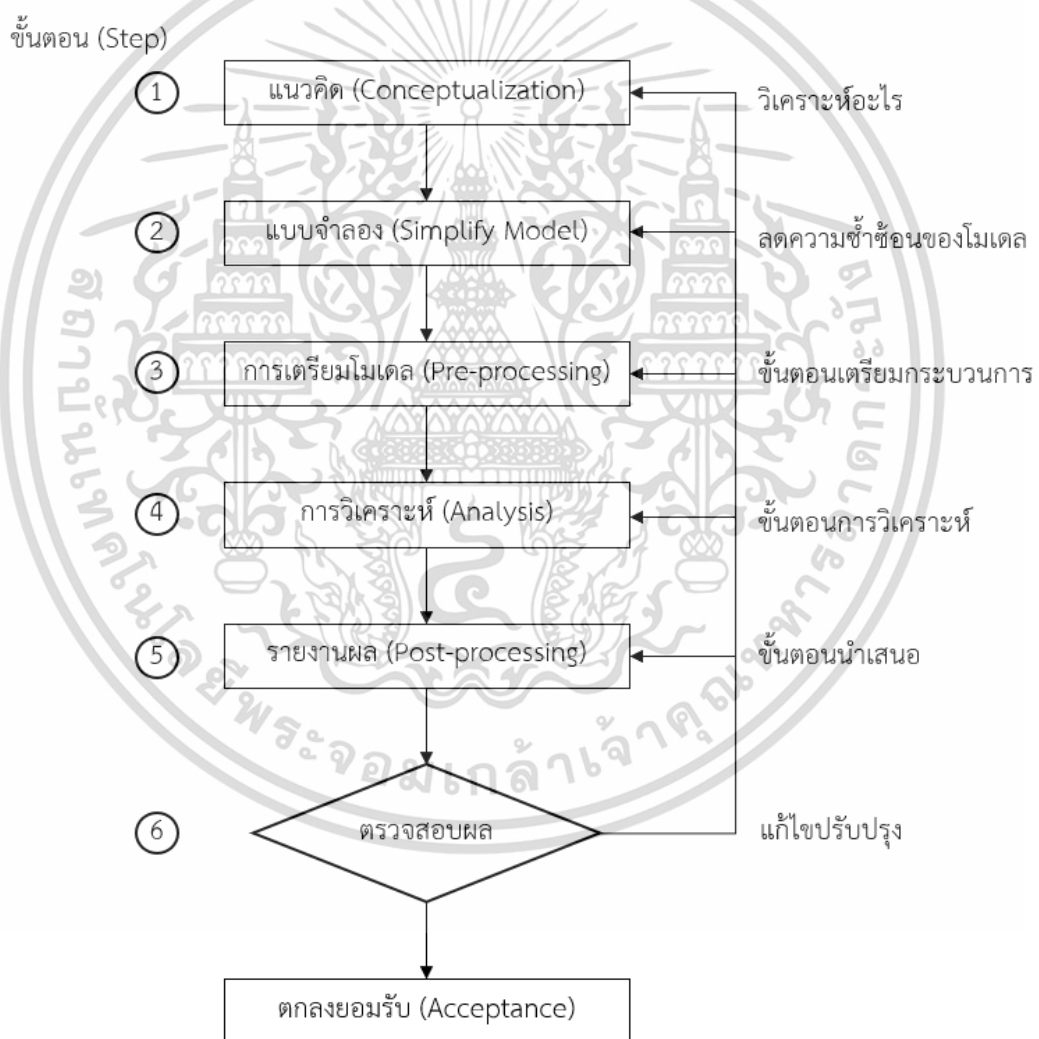
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์

เป็นโปรแกรมที่ช่วยให้นักวิจัยสามารถดำเนินการวิเคราะห์ผ่านระเบียบวิธีการทางไฟไนต์โวลุ่มตั้งแต่แรกเริ่มกระบวนการไปจนกระทั่งเสร็จสิ้น ซึ่งสามารถแสดงกระบวนการวิเคราะห์ไฟไนต์โวลุ่มนำมาออกแบบเป็นวงจรได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจรการวิเคราะห์ (The Analysis Cycle)

เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในกระบวนการระเบียบวิธีทางไฟไนต์โวลุ่มเราจำเป็นต้องพิจารณาในขั้นตอนการวิเคราะห์และกระบวนการต่างๆของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงวิธีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวลาหรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเอาแต่เนื้อหาเบาะๆเช่นด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาตัวเปิดในงานวิจัยนี้ทั้ง 6 ขั้นตอน โดยถ้าหากผลจากการวิเคราะห์ผ่านระเบียบทางไฟไนต์โวลุ่มให้ผลลัพธ์ไม่ตรงตามหลักเกณฑ์ของการออกแบบ เราสามารถย้อนกลับไปแก้ไขได้ขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นแนวคิดในการวิเคราะห์ (Conceptualization) ขั้นตอนที่ 2 ในกำหนดการสร้างแบบจำลอง (Modeling) การวิเคราะห์ (Analysis) (Conceptualization) การแสดง (Interpretation) (Conceptualization) พบข้อผิดพลาด (Meet Criteria) ตกลงยอมรับ (Acceptance) (Conceptualization) ดังนั้น 6 ขั้นตอนของกระบวนการวิเคราะห์นี้ เป็นหัวใจหลักในการดำเนินการวิจัย

3.2 สภาวะขอบเขต (Boundary Condition)

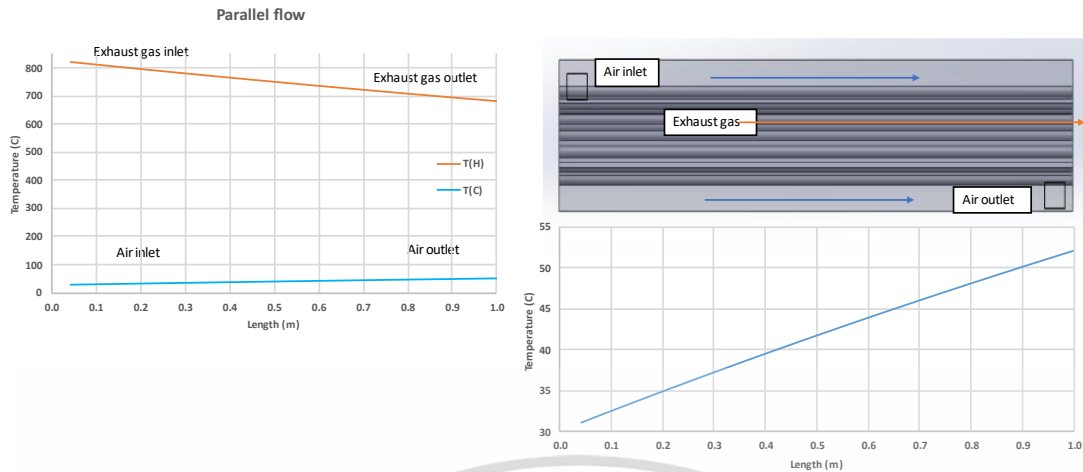
เพื่อที่จะเตรียมโมเดลให้พร้อมก่อนที่จะทำการทดลอง จึงมีความจำเป็นที่ต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขต เช่นการกำหนดสภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอุณหอากาศและห้องเผาไหม้ซินแก๊สจำเป็นต้องสะท้อนและแสดงให้เห็นถึงสภาพการทำงานใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด



รูปที่ 3.2 รูปแสดงระบบการเผาไหม้ซินแก๊สสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

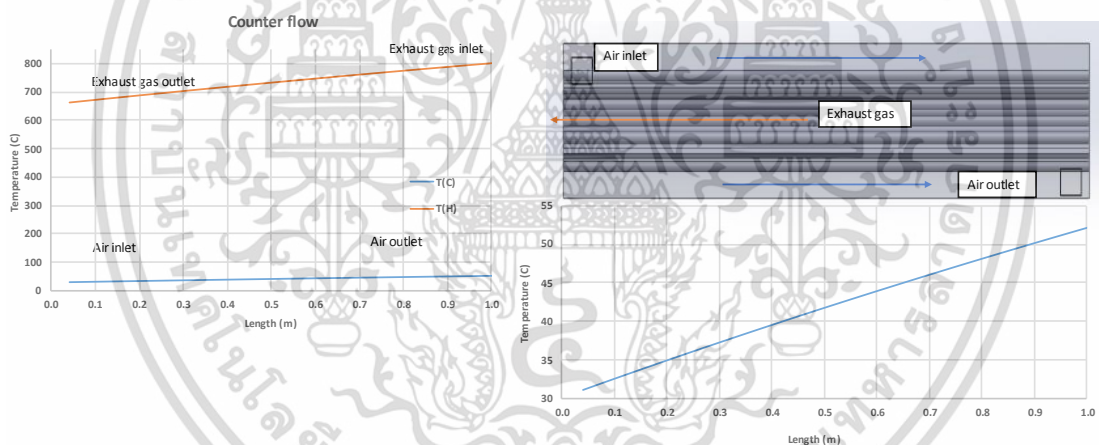
การจำลองระบบการเผาไหม้ของซินแก๊สตามรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยหลายส่วนแต่ในการศึกษานี้ วิเคราะห์เครื่องทำความร้อนอากาศและห้องเผาไหม้เพื่อเปรียบเทียบเครื่องอุณหอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ กับเครื่องอุณหอากาศมีแผ่นกั้นอากาศ และวิเคราะห์ผลเครื่องอุณหอากาศทั้งสองแบบ เมื่อเชื่อมต่อกับหัวเผาแบบปรับปรุง และหัวเผาซินแก๊สแบบเก่า โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพของเครื่องอุณหอากาศ ปริมาณความร้อนที่ใช้ และประสิทธิภาพของห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



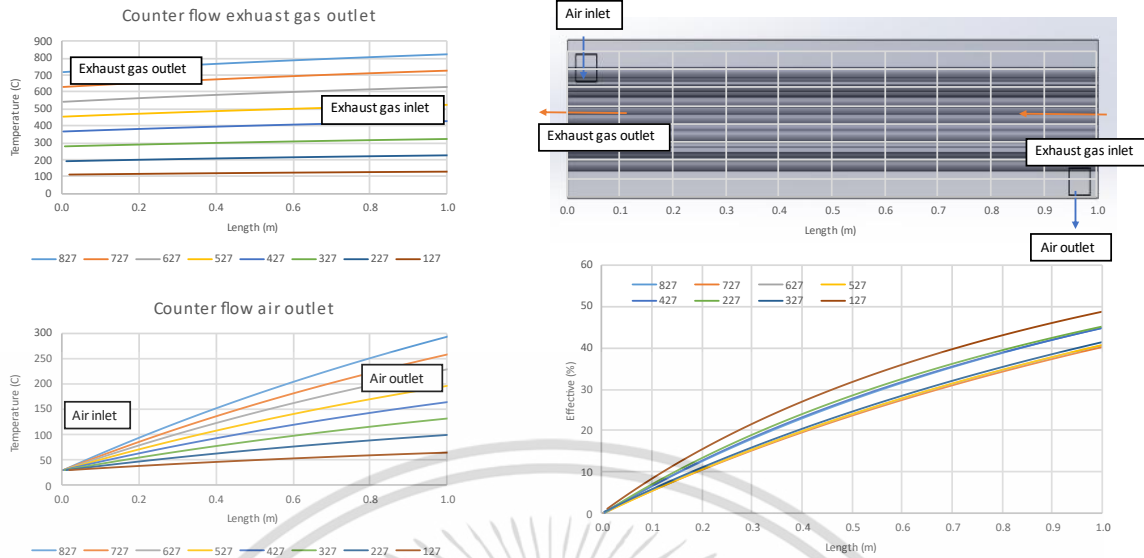
รูปที่ 3.3 รูปแสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศการไหลแบบทางเดียวกัน

การจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียกับอากาศในเครื่องอุ่นอากาศโดยเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขนานกันจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศที่ได้หลังจากอุ่นอากาศจะตามความยาวของท่อที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิทางออกของแก๊สไอเสียและอากาศจะมีค่าเข้าใกล้กันที่ค่าเฉลี่ย log mean



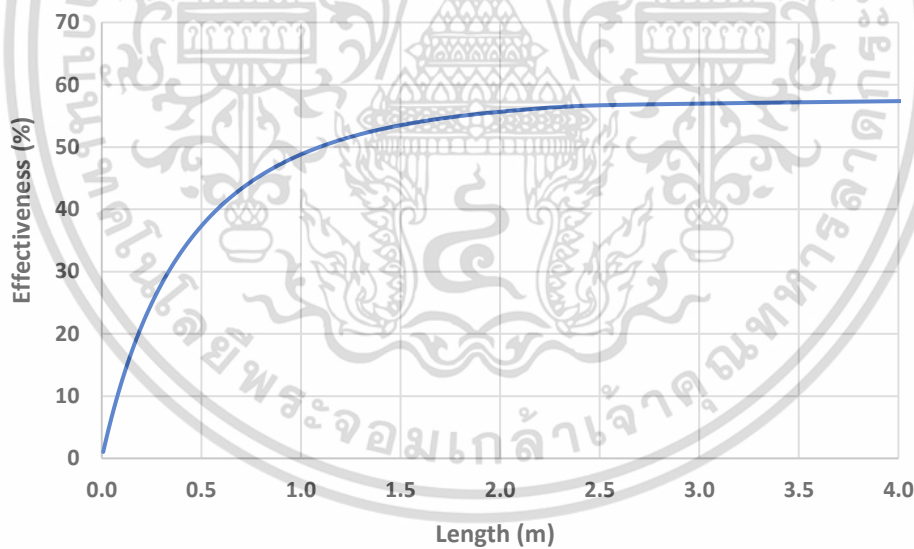
รูปที่ 3.4 รูปแสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศการไหลแบบสวนทาง

การจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียกับอากาศในเครื่องอุ่นอากาศโดยเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสวนทางกันจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศที่ได้หลังจากอุ่นอากาศจะตามความยาวของท่อที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากการจำลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทางออกของอากาศหลังจากอุ่นอากาศไม่ต่างจากการไหลแบบขนานเนื่องจากประสิทธิภาพที่ได้ทั้งสองแบบจะไม่ต่างกันมากเนื่องจากแบบจำลองมีขนาดเล็ก



รูปที่ 3.5 รูปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

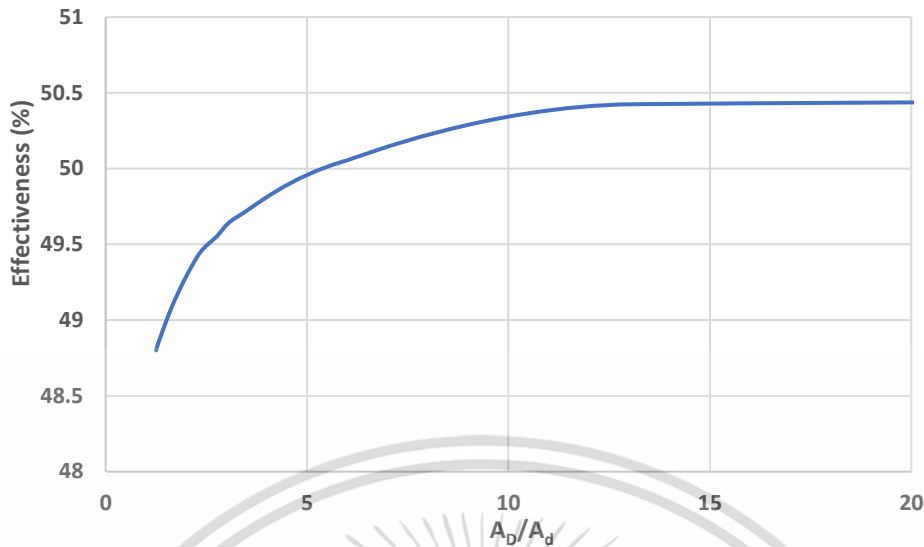
จากรูปที่ 3.5 ประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศจะเพิ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิของแก๊สไอเสียสูงขึ้นเนื่องจากแบบจำลองเครื่องอุ่นอากาศมีขนาดเล็ก มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่มากพอจึงทำให้ความร้อนที่ได้ น้อยกว่าความร้อนที่สูญเสีย



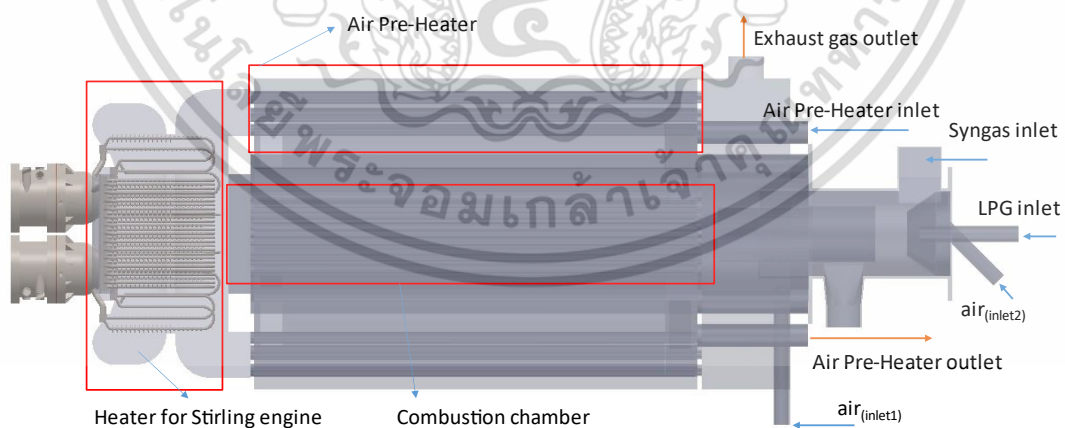
รูปที่ 3.6 รูปเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับความยาวเครื่องอุ่นอากาศ

การจำลองศึกษาการออกแบบเครื่องอุ่นอากาศจะพิจารณาจากประสิทธิภาพที่ได้ในการแลกเปลี่ยน ความร้อน ประสิทธิภาพที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของท่อภายในเครื่องอุ่น อากาศเนื่องจากพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

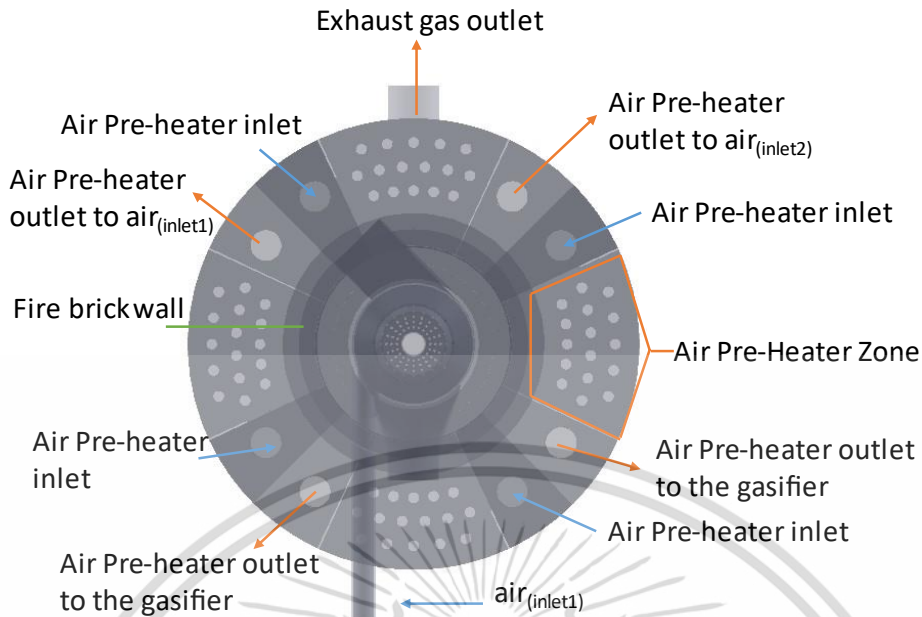


รูปที่ 3.7 รูปเปรียบเทียบประสิทธิผลกับอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดภายนอกต่อภายในท่อ การวิเคราะห์การออกแบบเครื่องอุณหอากาศสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงซินแก๊สจะพิจารณาจากพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ความยาวท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อและภายนอกท่อ จากรูปที่ 3.7 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียและอากาศจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดภายนอกต่อพื้นที่หน้าตัดภายใน เมื่อถึงจุดหนึ่งก็จะคงที่และลดลง แบบจำลองเครื่องอุณหอากาศที่ใช้ในการจำลอง ดังรูปที่ 3.7 จะมีประสิทธิผลสูงสุดที่ พื้นที่หน้าตัดภายนอกต่อพื้นที่หน้าภายในท่ออยู่ที่ 12 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนและรับความร้อนเครื่องอุณหอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ถ้าผนังหนึ่งบางเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้น และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อเพิ่มขึ้นเมื่อถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพก็จะลดลง



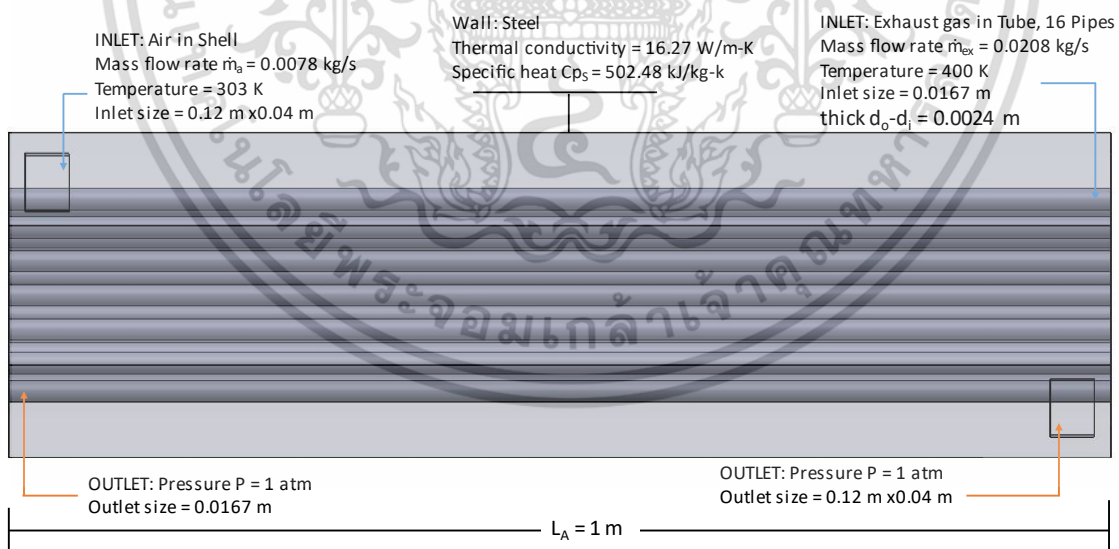
รูปที่ 3.8 รูปแสดงระบบการเผาไหม้ซินแก๊สสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 รูปแสดงการระบบการการเผาไหม้ซินแก๊สสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้านหน้า

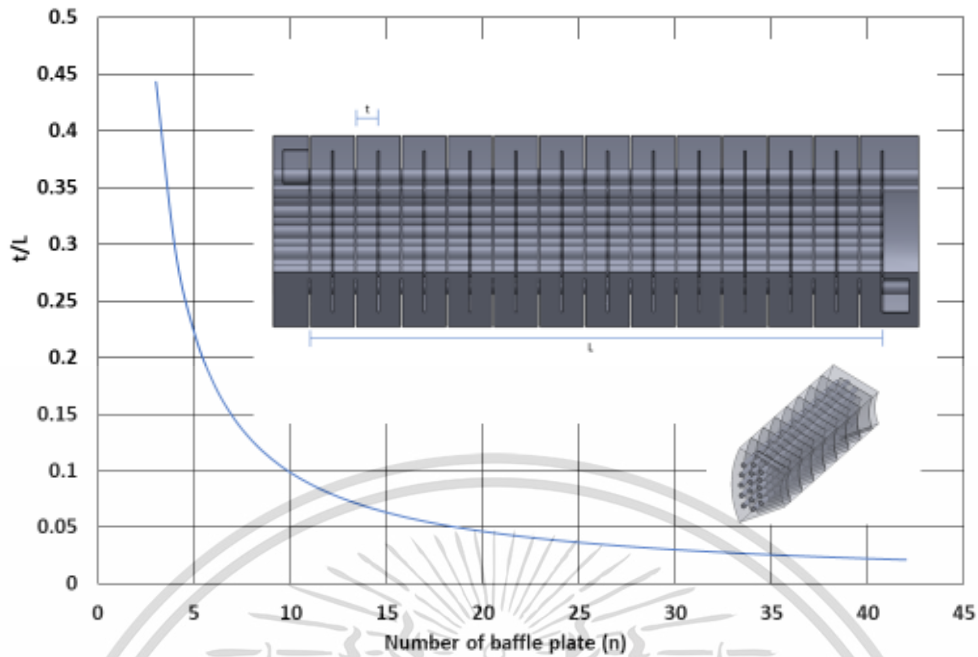
ระบบการเผาไหม้ Syngas ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1. เครื่องอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้กับเชื้อเพลิงซินแก๊ส 2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเครื่องยนต์อัลฟาสเตอร์ลิง 3. ห้องเผาไหม้ที่ซินแก๊สเมื่ออากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ ผสมกับ Syngas ที่เหลืออยู่ตรงกลางหัวเผาเพื่อให้การเผาไหม้ที่ดีขึ้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของก๊าซไอเสียสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไหลผ่านท่อในเครื่องอุ่นอากาศ



รูปที่ 3.10 รูปแสดงเงื่อนไขการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ

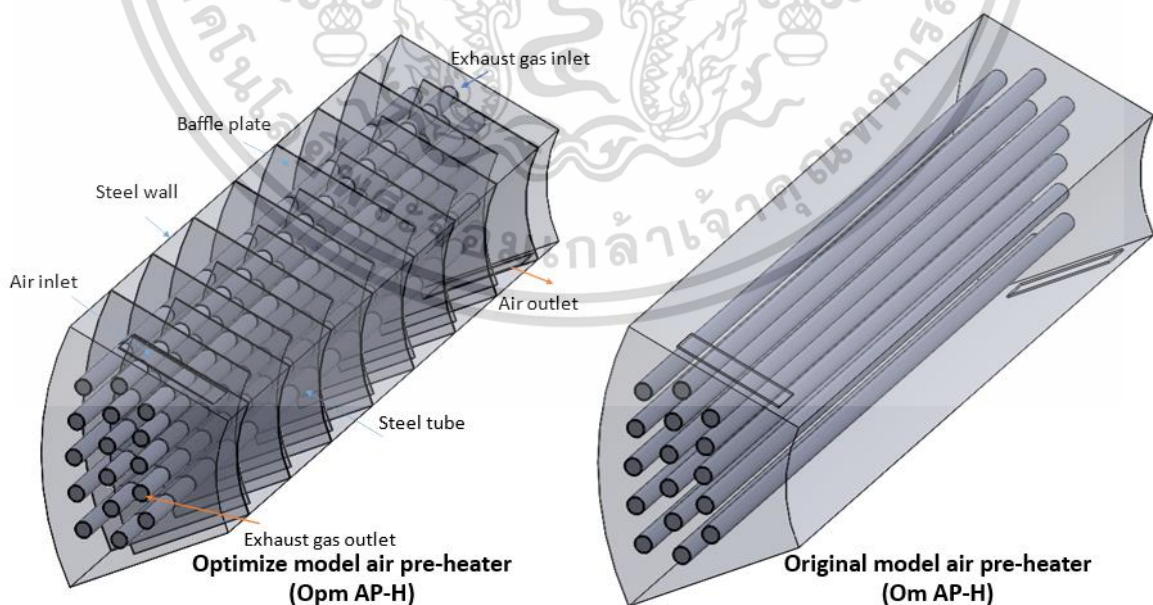
เครื่องอุ่นอากาศมีหน้าที่ในการดึงความร้อนเหลือจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก่อนที่จะปล่อยแก๊สไอเสียสู่บรรยากาศเพื่อนำความร้อนที่จะสูญเสียโดยตรงกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบพลังงานสัมผัสและช่วยเพิ่มอุณหภูมิในการติดไฟของซินแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 อัตราส่วนระยะห่างแผ่นต่อความยาวรวมเมื่อเทียบกับจำนวนแผ่นกั้นอากาศ

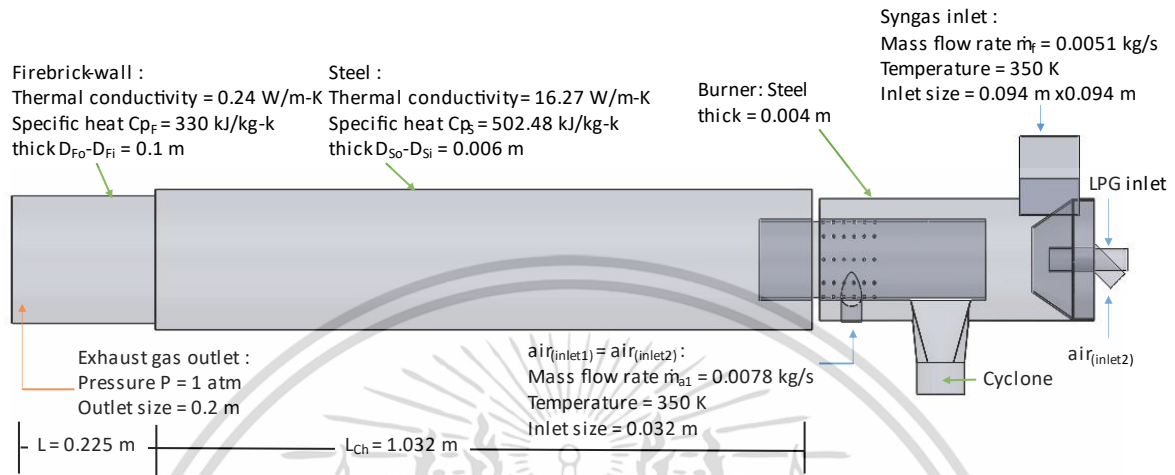
ในการออกแบบเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศจะต้องหาระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นอากาศต่อความยาวรวมในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเปรียบเทียบจำนวนแผ่นกั้นอากาศที่เหมาะสมในการออกแบบการถ่ายเทความร้อน ถ้าหากเราเพิ่มจำนวนแผ่นกั้นอากาศขึ้นเรื่อยๆ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นอากาศจะลดลงเรื่อยๆ จะทำให้ความดันตกและพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ดังนั้นจำนวนแผ่นกั้นอากาศจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน ความดันตกค่อม อุณหภูมิ



รูปที่ 3.12 รูปแสดงแบบจำลองเครื่องอุ่นอากาศหลังและก่อนปรับปรุง

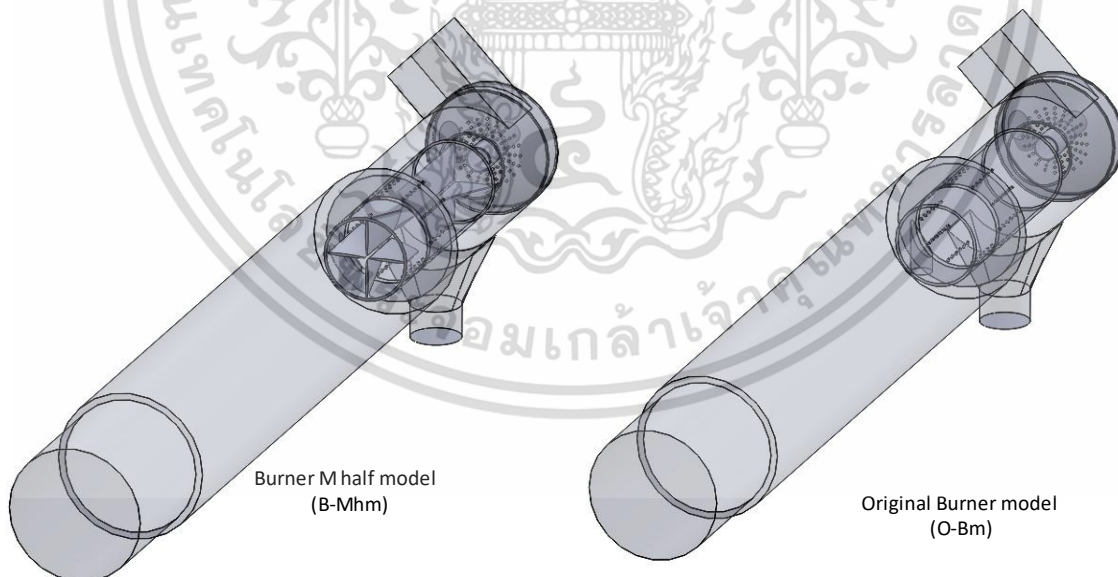
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศกับแก๊สไอเสีย โดยอากาศจะไหลภายนอกท่อและแก๊สไอเสียไหลภายในท่อไหลภายในท่อทำให้อากาศอุ่นขึ้นจากพื้นผิวนอกท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกของท่อคือ 0.0167 และ 0.0191 m ท่อที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมี 16 อัน



รูปที่ 3.13 รูปแสดงแบบจำลองห้องเผาไหม้ซินแก๊ส

อากาศที่ผสมกับซินแก๊ส แบ่งออกเป็นสองช่วง อากาศปฐมภูมิ และอากาศทุติยภูมิ บริเวณหัวเผาเชื่อมต่อกับไซโคลนมีหน้าที่ดักจับอนุภาคที่มากับซินแก๊สผนังห้องเผาไหม้เป็นวัสดุทนไฟที่ก่อด้วยอิฐทนไฟสลักกับเหล็ก ซึ่งเงื่อนไขในการจำลองการเผาไหม้ของซินแก๊สในห้องเผาไหม้จะแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.14 รูปแสดงแบบจำลองหัวเผาซินแก๊สหลังและก่อนปรับปรุง

ในการปรับปรุงหัวเผาไหม้ซินแก๊สจะทำการใส่กริดเข้าไปส่วนปลายของหัวเผาที่มีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อลดความเร็วของอากาศระหว่างผสมกับเชื้อเพลิงซินแก๊สลง ทำให้มีระยะเวลาในการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเพิ่มขึ้น และเพิ่มโอกาสในการผสมกันของอากาศกับเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่วนประกอบของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงซินแกสที่ใช้ในการเผาไหม้ประกอบด้วย CH_4 0.97 %, H_2 3.86 %, CO 63.32 %, CO_2 31.66 %, N_2 0.05 % และอื่นๆ 0.14 % เป็นสัดส่วนขององค์ประกอบมวลเชื้อเพลิง

3.3 เอลิเมนต์ (Element)

โดยในรายงานการวิจัยเล่มนี้เรามีความจำเป็นที่จะต้องใช้อิเล็กเมนต์แบบสามมิติในการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้ได้คำตอบที่เชื่อถือได้ เนื่องจากรูปร่างที่ค่อนข้างซับซ้อน



รูปที่ 3.15 แสดงรูปกริดท่อน้ำร้อนเครื่องอุณหอากาศ



รูปที่ 3.16 แสดงรูปกริดเครื่องอุณหอากาศ

เอลิเมนต์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเครื่องอุณหอากาศสำหรับระบบการเผาไหม้ซินแกสเพื่อให้ความร้อนกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จะใช้การสร้างแบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และแบบรังผึ้ง ซึ่งแต่แบบที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการจำลองของระบบที่ต้องการจะศึกษา เช่น แบบจำลองมีความซับซ้อนมากเกินไปก็จะใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมเพราะง่ายต่อการขึ้นแบบจำลอง แต่จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลนาน ในส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอลิเมนต์สี่เหลี่ยม และแบบรังผึ้ง จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยกว่าและมีโอกาสในการลู่เข้าของผลเฉลยมากกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคในการทำเอลิเมนต์ด้วยเช่นเดียว ในรูปที่ 3.16 ใส่ชั้นชนิดผิวบริเวณผิวในของท่อที่สัมผัสกับแก๊สไอเสีย รูปแบบกริดเครื่องอุ่นอากาศบริเวณผิวภายนอกท่อที่สัมผัสกับอากาศจะมีการใส่ชั้นชนิดผิวและปรับระยะเอลิเมนต์ในใกล้เคียงกันมากที่สุด

ตารางที่ 3.1 Element and Nodes air preheater and combustion chamber

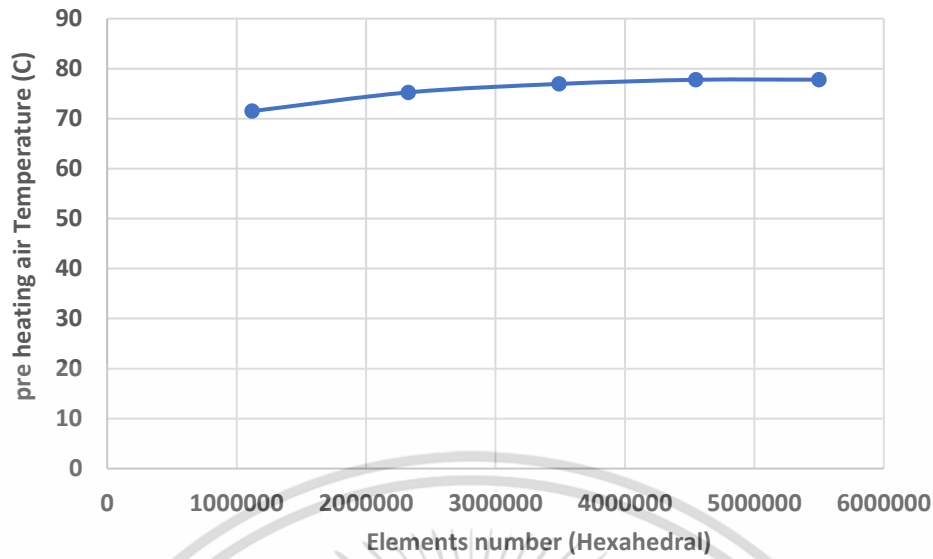
Model	Types of mesh	Element	Nodes
Air Preheater (-)	Hexahedral	4548720	4929697
Air Preheater (2)	Tetrahedral	8459498	3281303
Air Preheater (4)	Polyhedral	4892753	12088133
Air Preheater (7)	Tetrahedral	8804847	2938497
Air Preheater (9)	Tetrahedral	8909603	2947135
Air Preheater (15)	Tetrahedral	8942652	3404951
Air Preheater (21)	Tetrahedral	8955832	3337014
B-Mhm	Polyhedral	1615047	8872977
O-Bm	Polyhedral	1600567	8872977

การจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศและแก๊สไอเสียในเครื่องอุ่นอากาศ นำผลการจำลองไปใช้จำลองห้องเผาไหม้ซินแก๊สเพื่อวิเคราะห์ระหว่างแบบจำลองทั้ง 4 แบบ ได้แก่ 1. แบบอุ่นอากาศแบบไม่ใส่อากาศแผ่นกั้น (Om AP-H) ต่อกับหัวเผาปกติ (O-Bm) 2. เครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้น (Om AP-H) ต่อกับหัวเผาสำหรับปรับปรุง (B-Mhm) 3. เครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้น 15 แผ่น (Opm AP-H) ต่อกับหัวเผาปกติ (O Bm) และ 4. เครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น (Opm AP-H) ต่อกับหัวเผาปรับปรุง (B-Mhm)

3.4 การลู่เข้าของผลเฉลย (Mesh Convergence)

จุดประสงค์เพื่อที่จะต้องการศึกษาในการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ว่าจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมจะมีปริมาณหน่วยเท่าไรและยังคงให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะสร้างความมั่นใจว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ยอมรับได้ และช่วยประหยัดทรัพยากรในการวิเคราะห์ของโปรแกรม โดยในการพิจารณาการบรรจบกันของจำนวนเอลิเมนต์ของกระบวนการก่อนการประมวลผลทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องจากการวิเคราะห์ผ่านระเบียบวิธีทางไฟไนต์โวลุ่ม โดยปกติแล้ววิธีนี้จะใช้กับการจำลองในส่วนองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เช่น การจำลองความเค้นที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือหรือระบบที่เราต้องการเพื่อศึกษา การหาอายุการใช้งานของเครื่องมือหรือเครื่องจักร การลดจำนวนของปริมาณชิ้นงาน ไปจนถึงการวิเคราะห์ในส่วนการเคลื่อนที่ในกลไก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 Mesh Convergence (No Baffle plate)

โดยในภาพด้านขวาแกน x จะแสดงจำนวนขององค์ประกอบการเชื่อมต่อและแกน y แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแก๊สไอเสีย ดังนั้นจากกราฟจึงสามารถระบุได้ว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศบนทิศทางของแกน y จะมาบรรจบกันเป็นค่าที่แน่นอนหากจำนวนขององค์ประกอบเท่ากับหรือสูงกว่า 4,548,720 องค์ประกอบเป็นต้นไป ดังนั้นองค์ประกอบขั้นต่ำที่จะสามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์และให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้คือ 4,548,720 องค์ประกอบ ทั้งนี้เพื่อที่จะลดเวลาในการคำนวณและวิเคราะห์ทางไฟไนต์โวลุ่มของโปรแกรม ANSYS และยังคงให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้

บทที่ 4

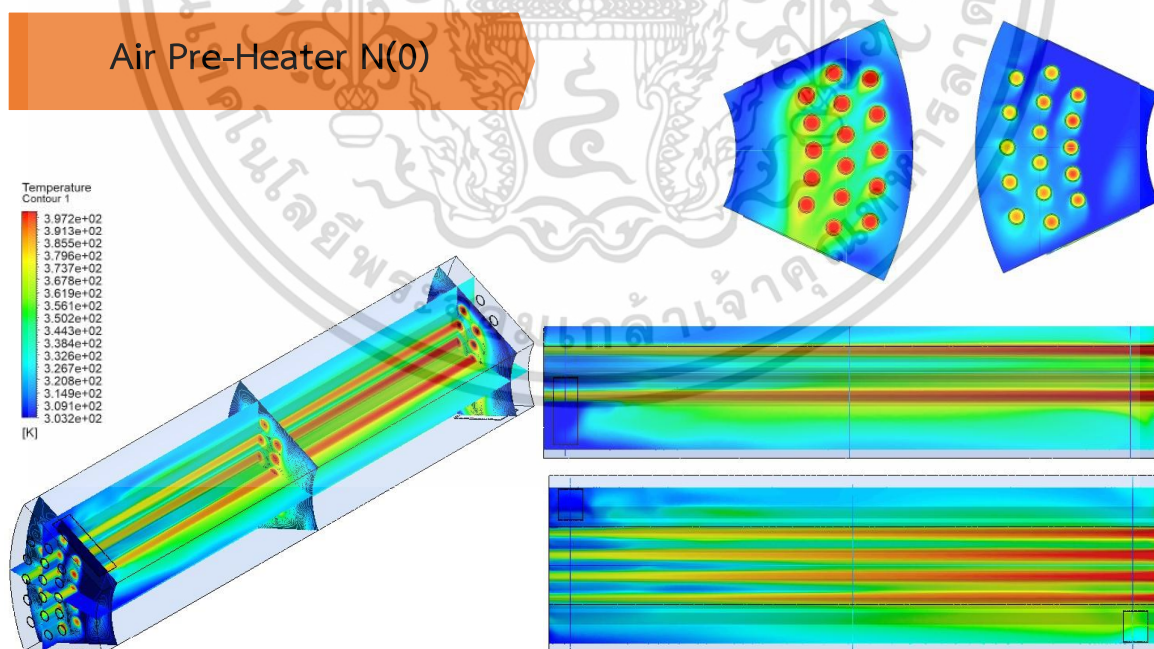
ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ซินแก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดแบบจำลองเครื่องอุ่นอากาศให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้นตามมีพื้นที่หน้าตัดในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น เช่น ความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลาง ท่อที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนยังขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลของการแลกเปลี่ยนความร้อน การวางแผนกั้นอากาศในเครื่องอุ่นอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผ่นกั้นอากาศ

4.1 การวิเคราะห์และรายงานผล (Analysis and Post-processing)

ในรายงานการวิจัยนี้จะศึกษาและดูผลลัพธ์ที่มาจากวิเคราะห์ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์โวลุ่มผ่านโปรแกรม (ANSYS) เพื่อที่จะตรวจสอบผลอุณหภูมิที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ซินแก๊ส และ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้ เช่น การกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ปริมาณการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ลักษณะการผสมระหว่างอากาศกับซินแก๊สที่เผาไหม้

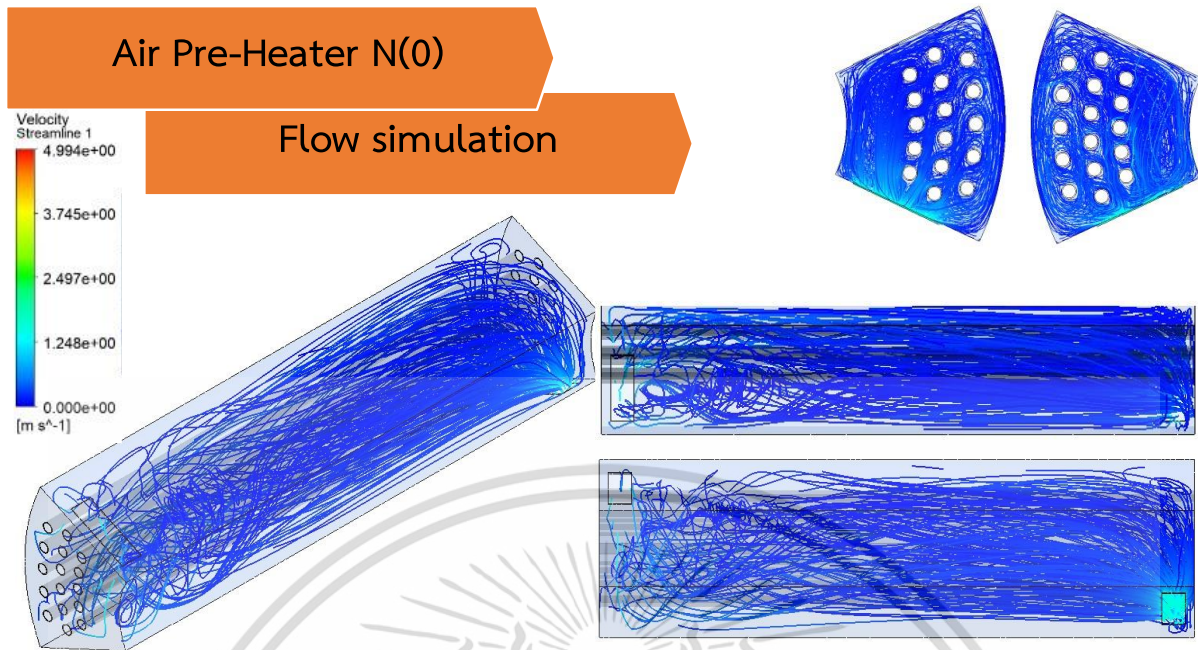
4.1.1 การวิเคราะห์ผลการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศ



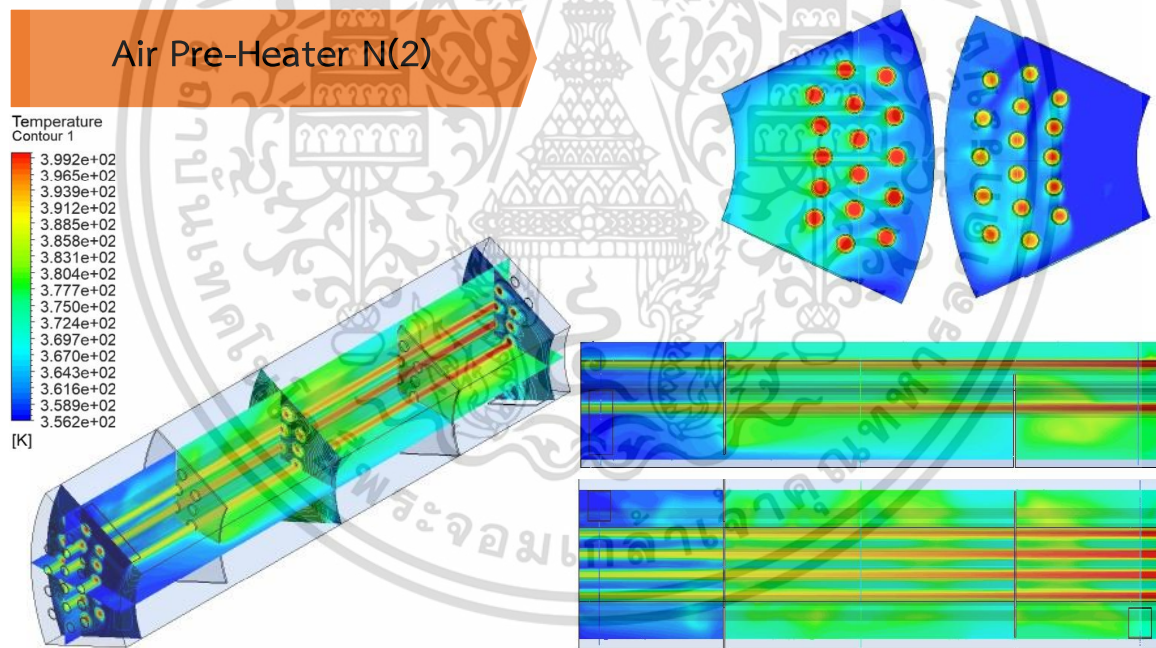
รูปที่ 4.1 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (-)

จากรูปที่ 4.1 ลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่เต็มทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองแบบไร้แผ่นกั้นอากาศ โดยแบบจำลองจะไม่มีแผ่นกั้นอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



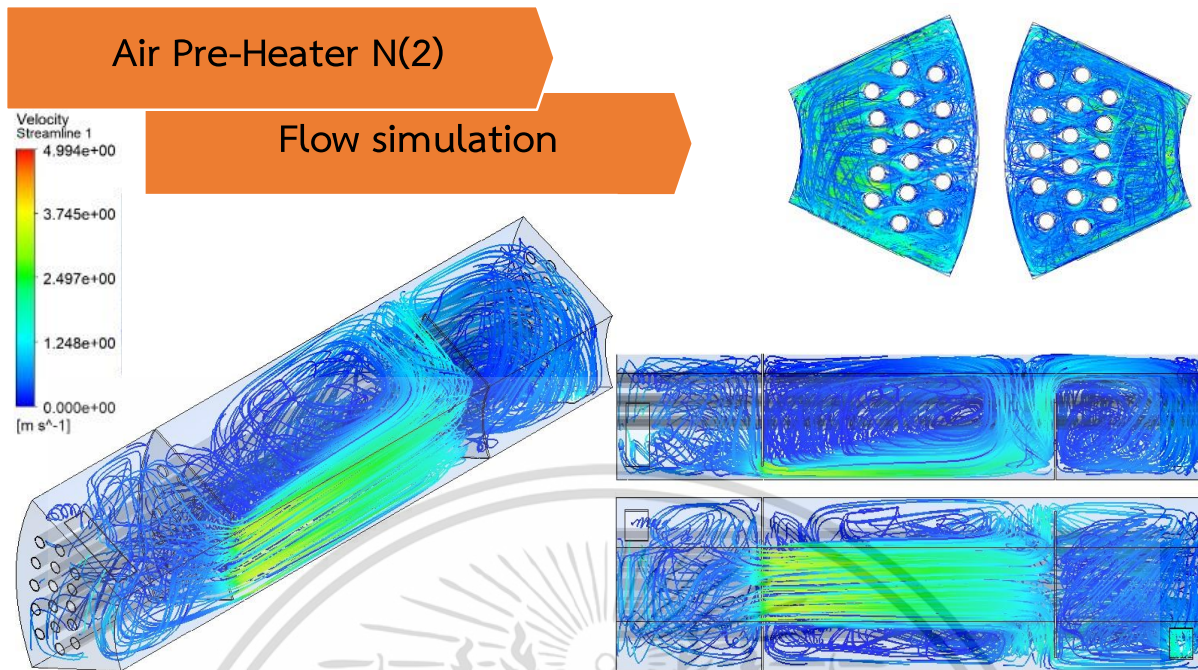
รูปที่ 4.2 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (-)



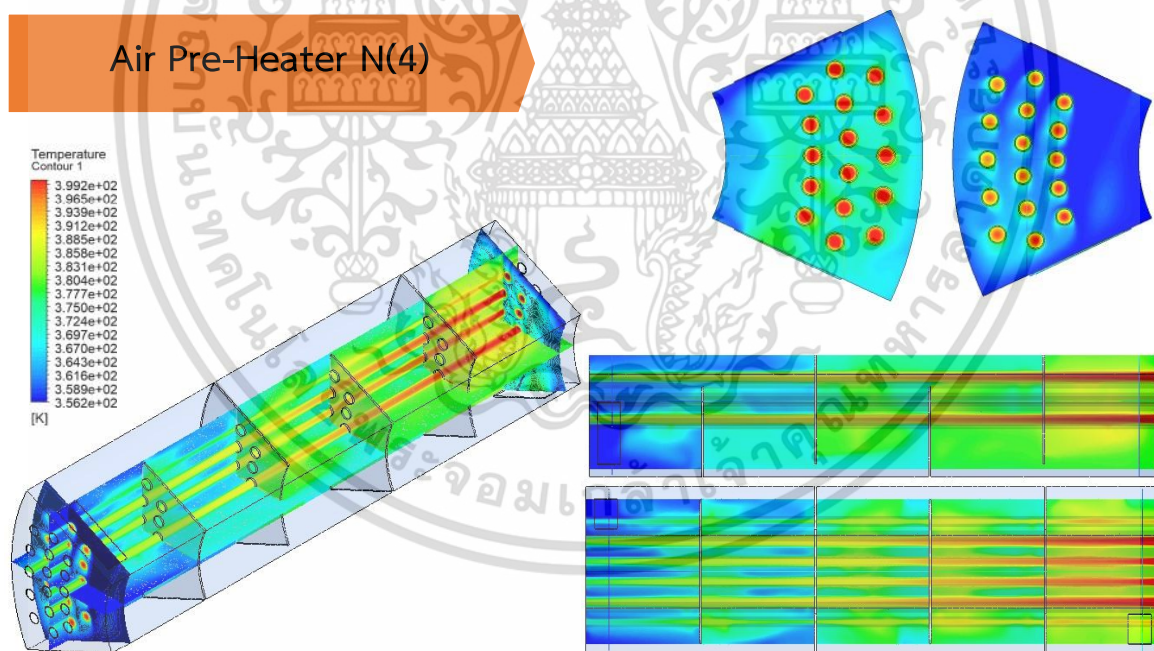
รูปที่ 4.3 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (2)

จากรูปที่ 4.3 เป็นแบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 2 แผ่น สลับกันลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนยังไม่เต็มทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



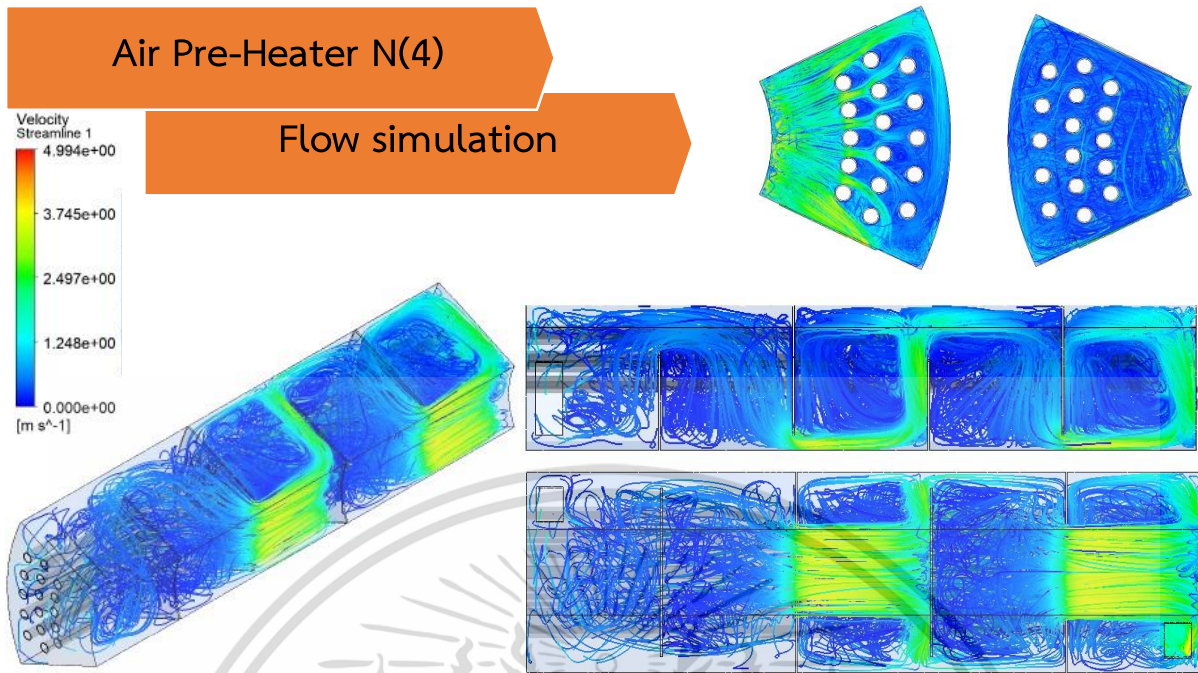
รูปที่ 4.4 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (2)



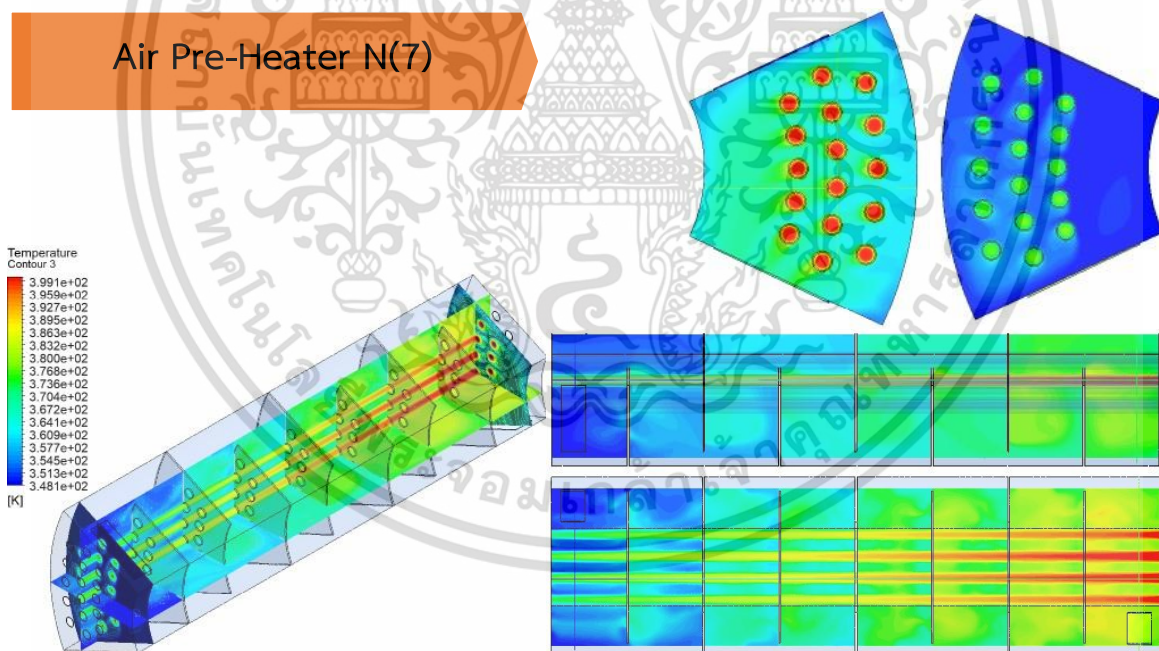
รูปที่ 4.5 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (4)

จากรูปที่ 4.5 เป็นแบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 4 แผ่น สลับกันลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนยังไม่เต็มทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



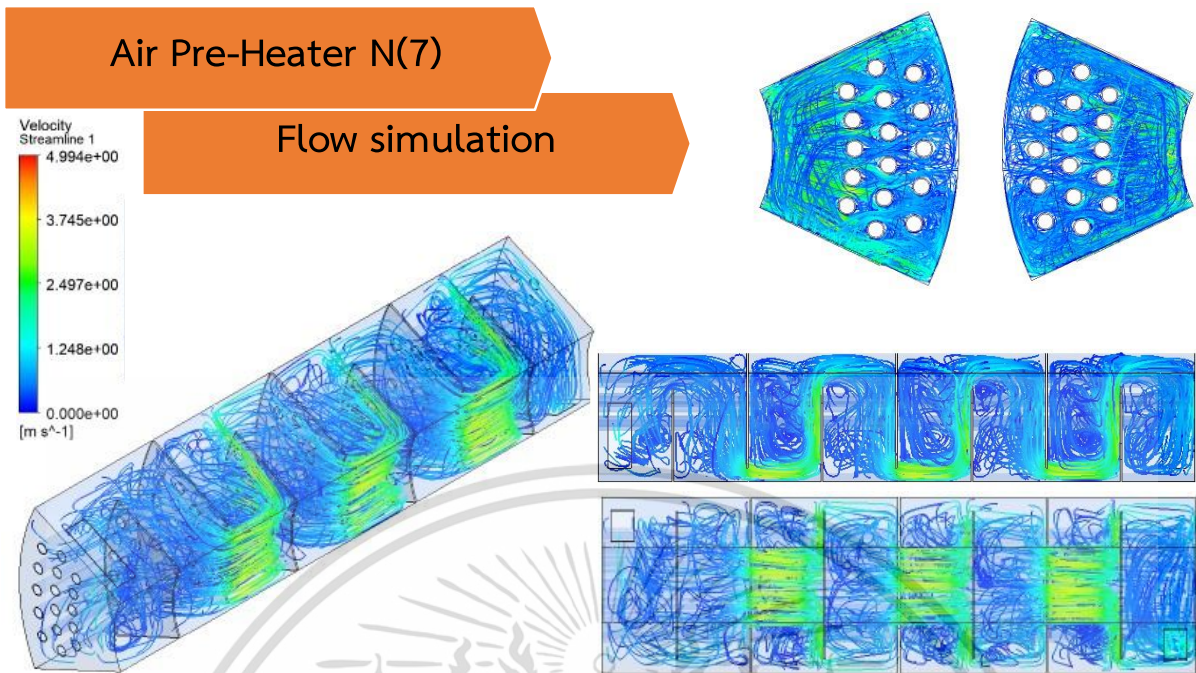
รูปที่ 4.6 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (4)



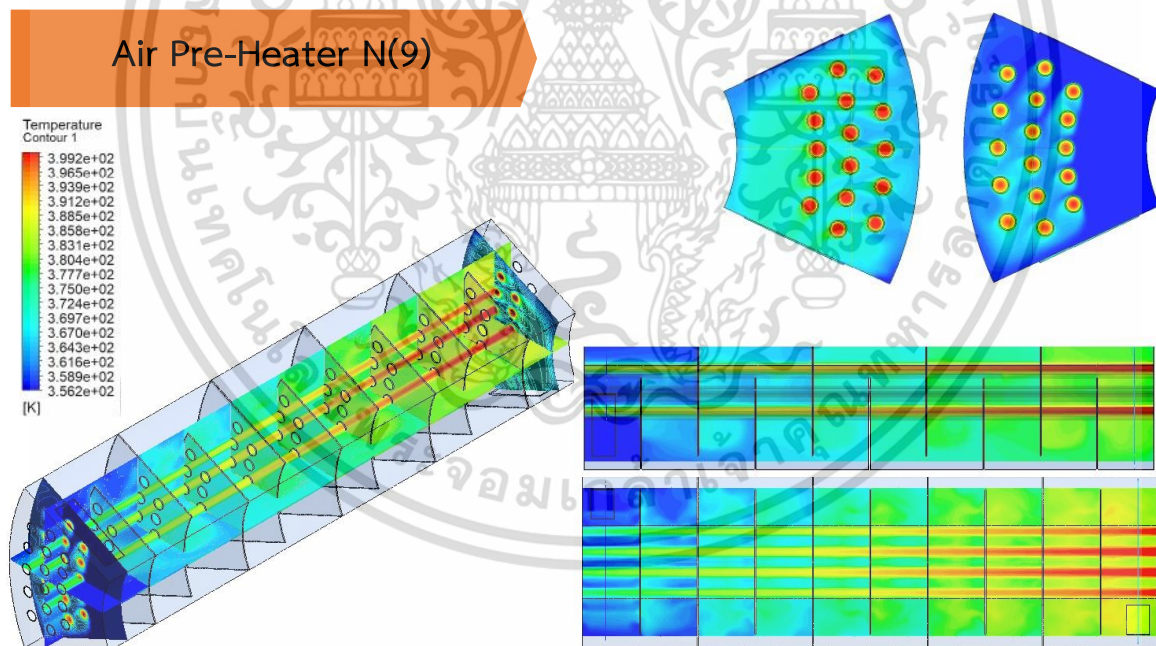
รูปที่ 4.7 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (7)

จากรูปที่ 4.7 เป็นแบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 7 แผ่น สลับกันลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนเต็มทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



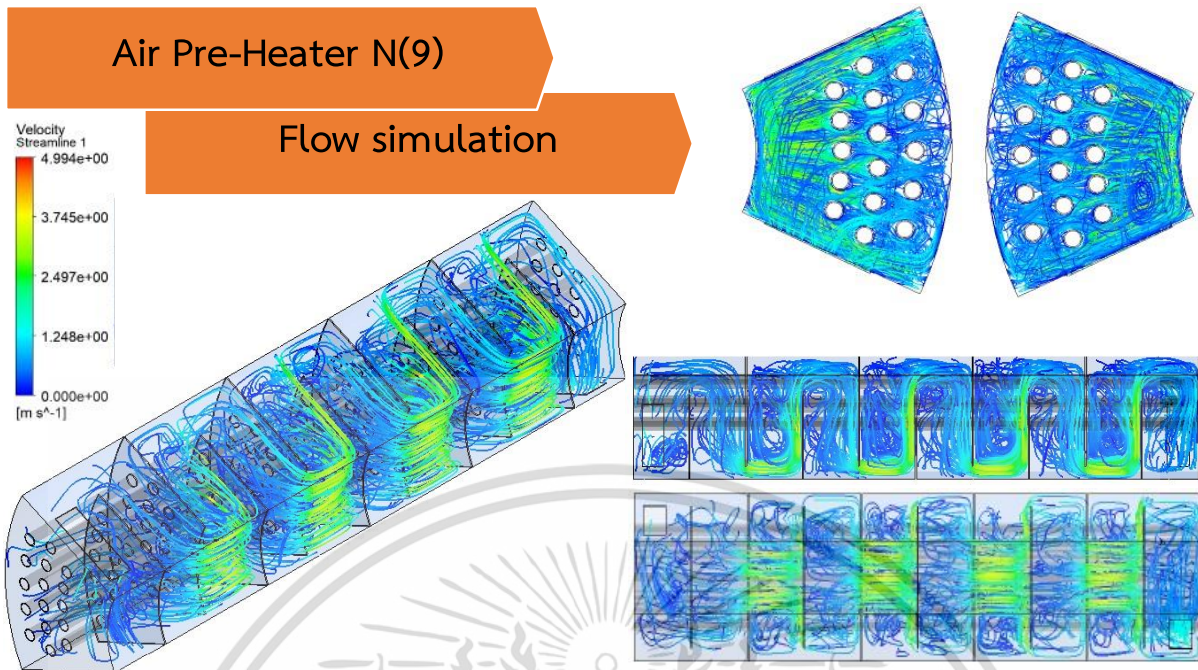
รูปที่ 4.8 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (7)



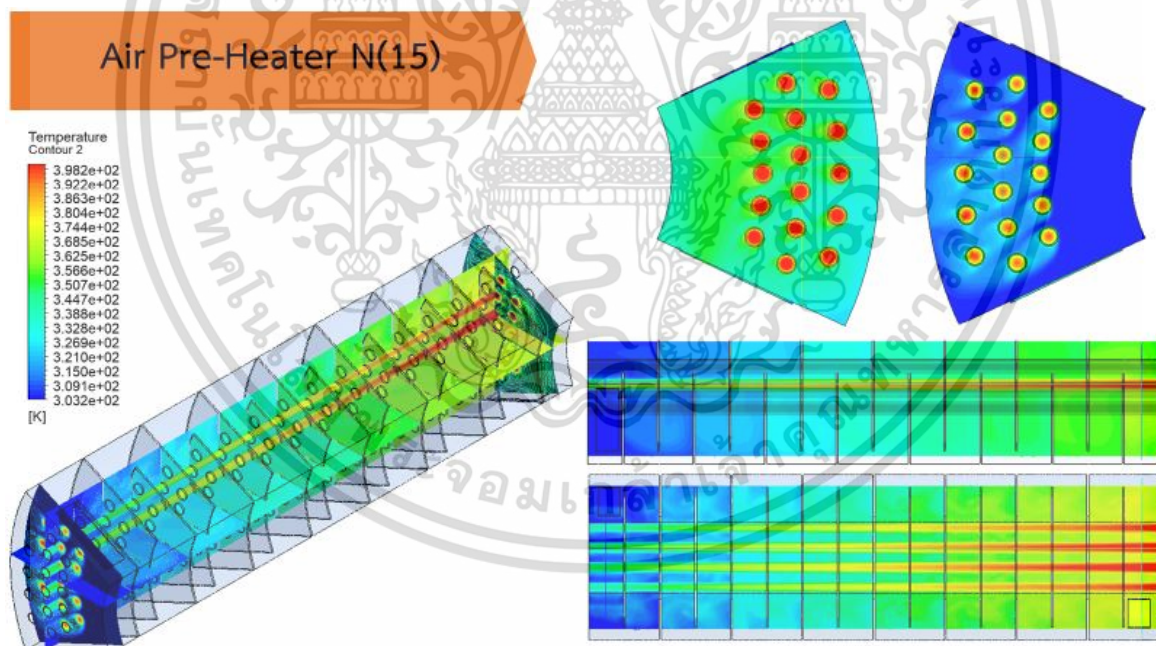
รูปที่ 4.9 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (9)

จากรูปที่ 4.9 เป็นแบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 9 แผ่น สลับกันลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนเต็มทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



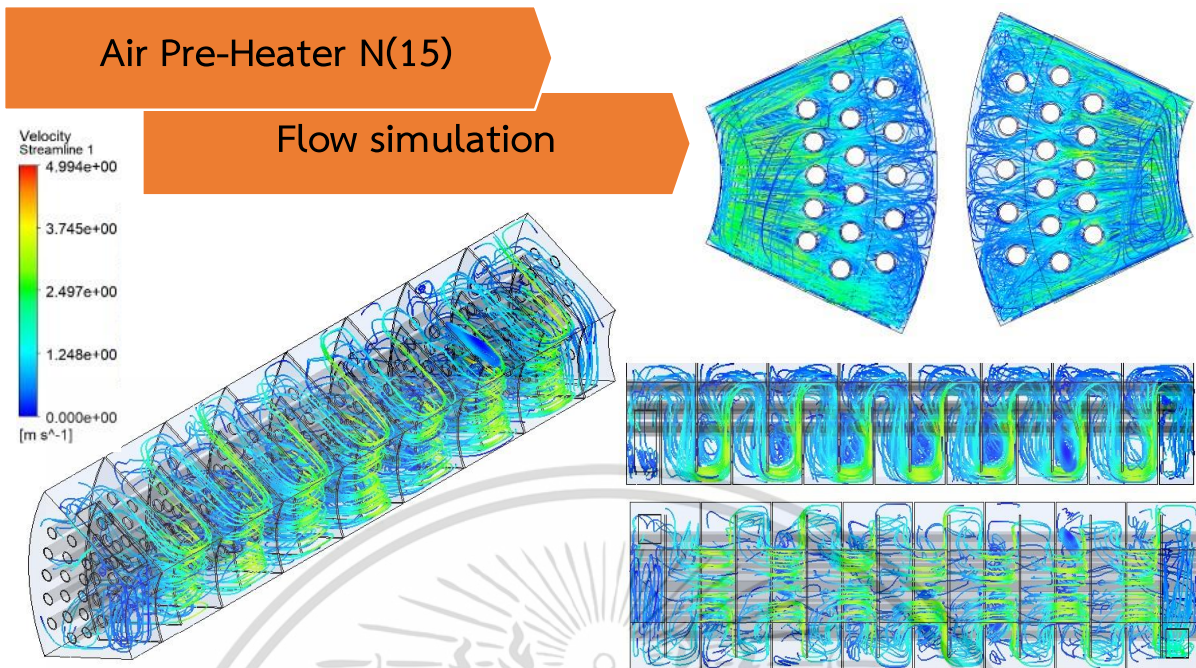
รูปที่ 4.10 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (9)



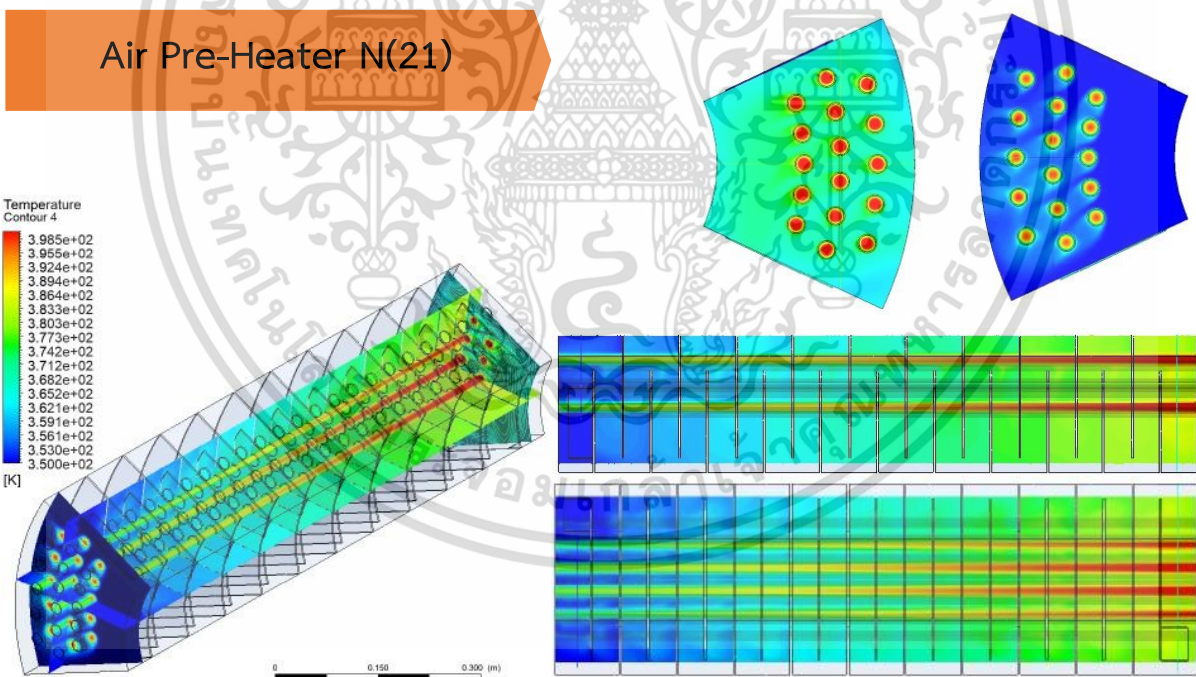
รูปที่ 4.11 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (15)

จากรูปที่ 4.11 ลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองมากกว่าแผ่นกั้นอากาศแบบไร้แผ่นกั้นอากาศ โดยแบบจำลองจะมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่นเรียงสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



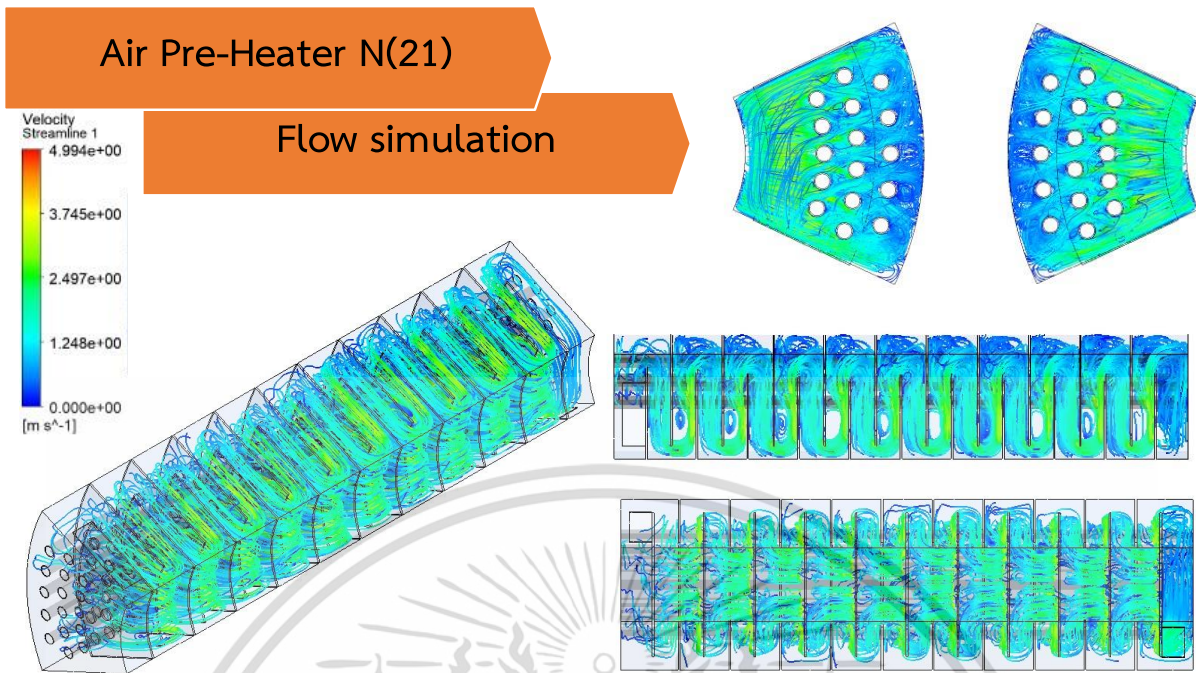
รูปที่ 4.12 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (15)



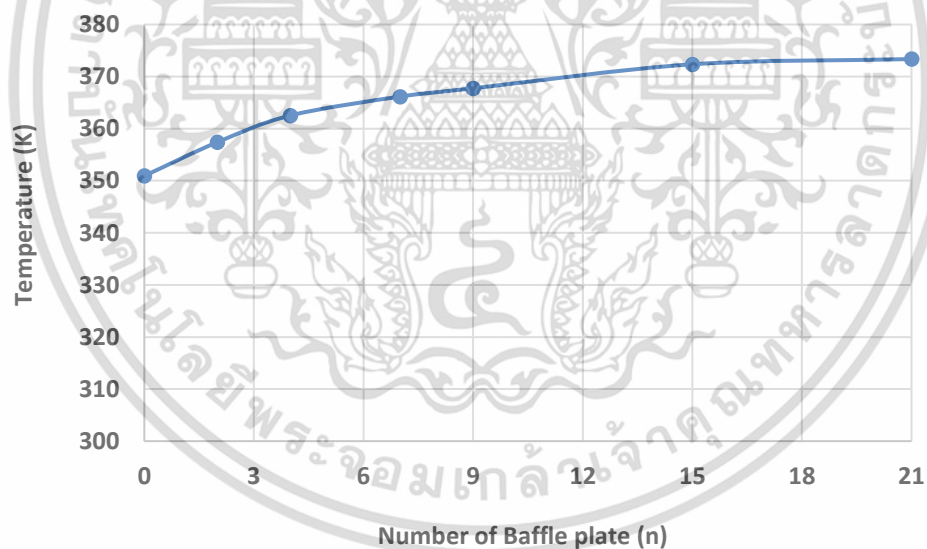
รูปที่ 4.13 แบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (21)

จากรูปที่ 4.13 ลักษณะรูปร่างมีการกระจายอุณหภูมิและการแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วพื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองมากกว่าแผ่นกั้นอากาศแบบไร้แผ่นกั้นอากาศ โดยแบบจำลองจะมีแผ่นกั้นอากาศ 21 แผ่นเรียงสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



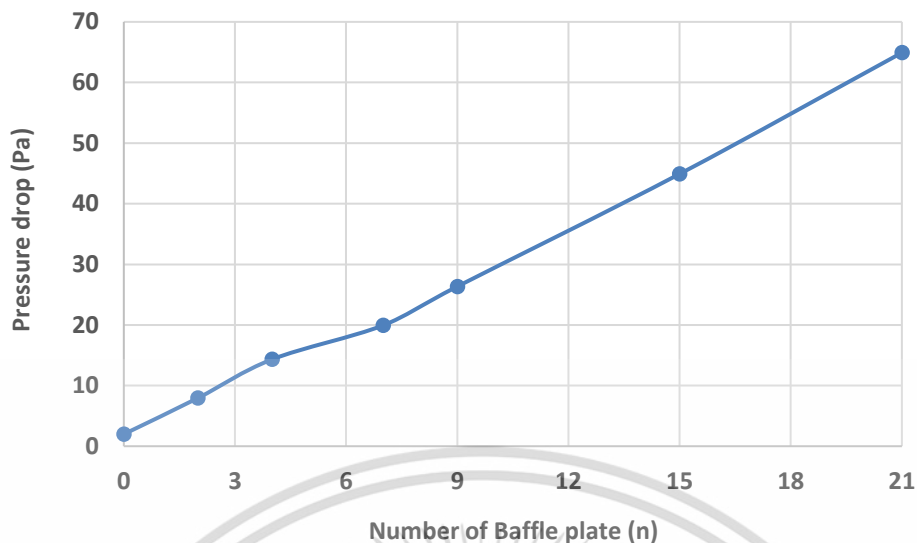
รูปที่ 4.14 ลักษณะการไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศ (21)



รูปที่ 4.15 preheating air temperature and number of baffle plates

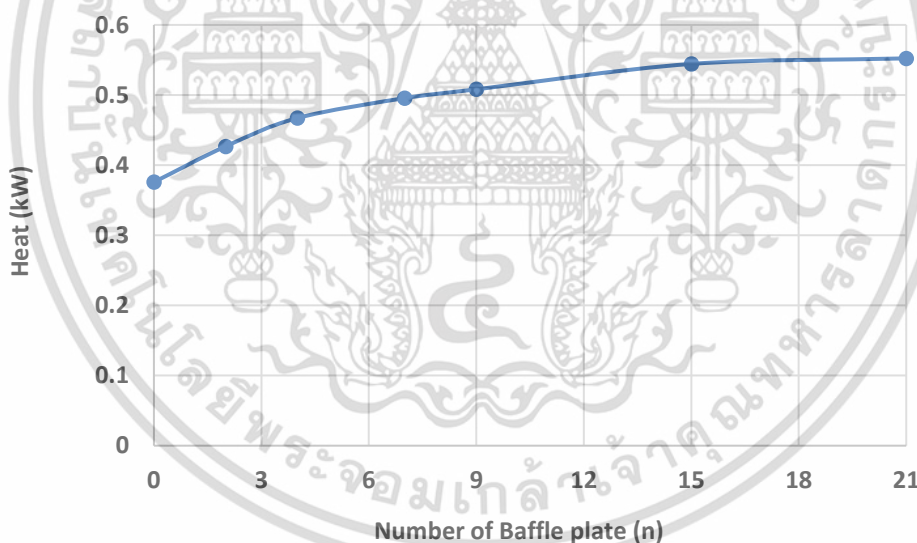
จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศหลังจากผ่านการอุ่นอากาศ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผ่นกั้นอากาศที่เรียงสลับกัน โดยความชันจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและ ลดลงเมื่อถึงแผ่นที่ 9 หลังจากแผ่นที่ 15 ก็จะมีผลคงที่ ดังนั้น เมื่อเพิ่มแผ่นกั้นอากาศเกิน 15 แผ่น จะมีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 Pressure drops and number of baffle plates

ในรูปที่ 4.16 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันตกคร่อมกับจำนวนแผ่นกั้นอากาศ จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มแผ่นกั้นอากาศความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้นและมีความชันที่คงที่ จากแบบจำลองเมื่อแผ่นกั้นอากาศ 21 แผ่น ความดันตกคร่อมสูงสุดจะอยู่ที่ 64 Pa และเมื่อไม่มีแผ่นกั้นอากาศความดันตกคร่อมจะอยู่ที่ 2 Pa

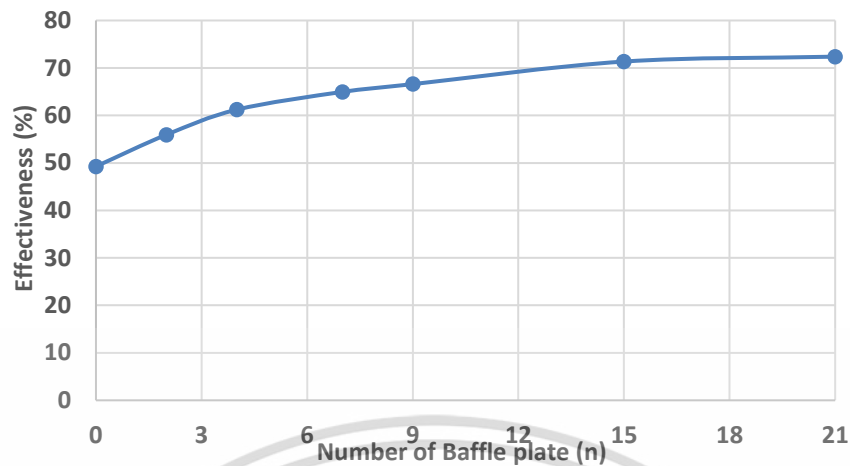


รูปที่ 4.17 The amount of heat and the number of baffle plates

การจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ซินแก๊สกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ จึงพิจารณาถึงปริมาณความร้อนที่ได้ จากรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความร้อนที่ได้กับ จำนวนแผ่นกั้นอากาศ ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ซินแก๊ส ที่อัตราส่วนระหว่าง อากาศต่อเชื้อเพลิง เผาไหม้พอดี จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มใส่แผ่นกั้นอากาศถึง 4 แผ่น จะได้ความชันสูงสุด และ ความชันจะลดลงเมื่อเพิ่มเป็น 9 แผ่น ความร้อนที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่ 0.544 kw เมื่อแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น และอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเพิ่มแผ่นกั้นอากาศถึง 21 แผ่น และปริมาณความร้อนมีการถ่ายเทน้อยสุดเมื่อไม่มีแผ่นกั้นอากาศจะอยู่ที่ 0.37 kw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

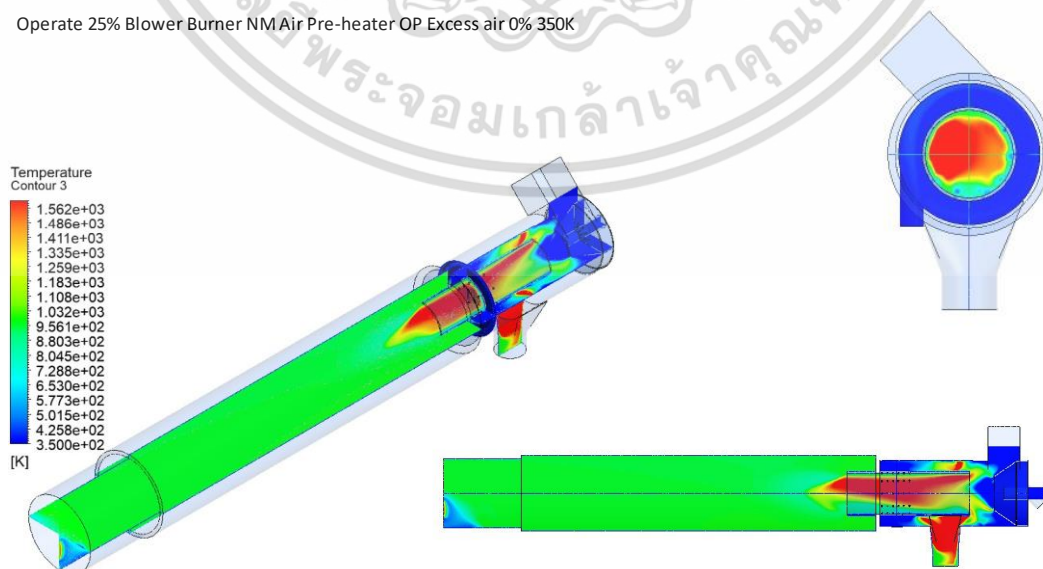


รูปที่ 4.18 Effectiveness and number of baffle plates

การเพิ่มจำนวนแผ่นกั้น อุณหภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผ่นกั้นเพราะระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนและการกระจายอุณหภูมิที่มากขึ้น ปริมาณความร้อนของอากาศอุ่นเพิ่มขึ้นสูงสุด 0.544 kw เมื่อติดแผ่นกั้น 15 แผ่น ความชันสูงสุดของกราฟคือ 4 แผ่น และเมื่อจำนวนแผ่นกั้นเกิน 4 ความชันของกราฟจะลดลง สามารถลดการสูญเสียความร้อนทั้งหมดในระบบจากไอเสียสู่บรรยากาศ 0.67 kw ประสิทธิภาพการให้ความร้อนด้วยแก๊สไอเสียจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผ่นกั้นอากาศ จาก 49.26 % เป็น 71.35 % การแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอุ่นลมร้อน พบว่า เครื่องทำลมร้อนไม่มีแผ่นกั้น อุณหภูมิที่ได้คือ 350 K แต่เมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่นอุณหภูมิสูงสุดคือ 372 K ดังนั้นจึงเปรียบเทียบเครื่องอุ่นอากาศเมื่อเชื่อมต่อกับห้องเผาไหม้พร้อมหัวเผาทั้งสองแบบ คือหัวเผาที่มีเกลียวใน (B-Mhm) และไม่มีเกลียวภายใน (O-Bm) เพื่อวิเคราะห์ผลการเผาไหม้ของซินแก๊สเมื่ออุณหภูมิอากาศเผาไหม้เพิ่มขึ้น

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศ

Operate 25% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 350K

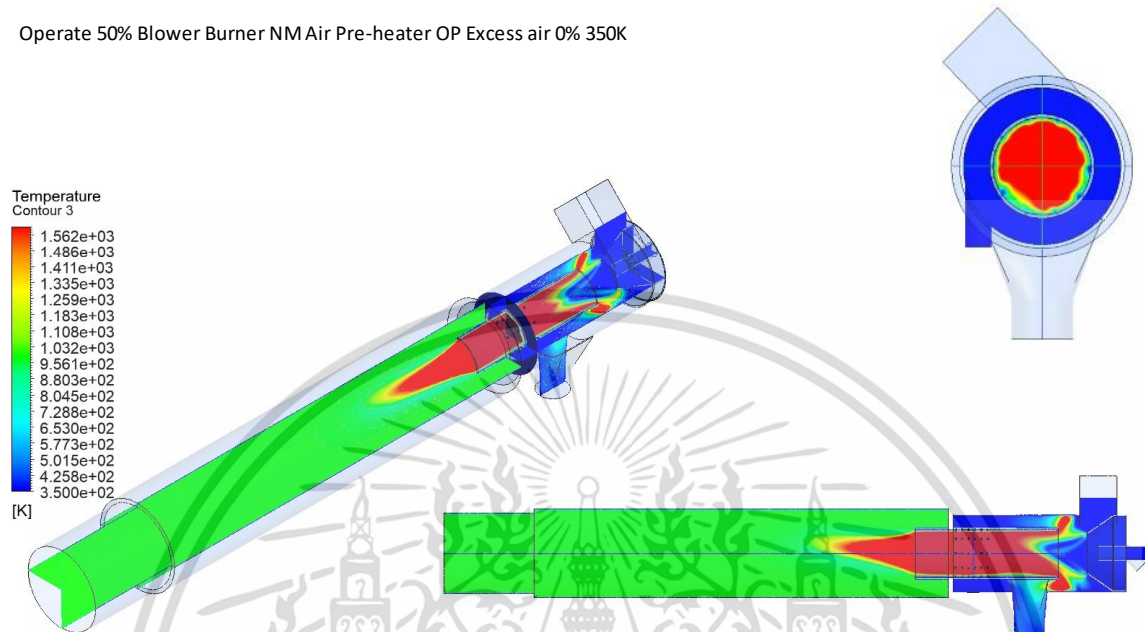


รูปที่ 4.19 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.19 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 25 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 117.804 kw

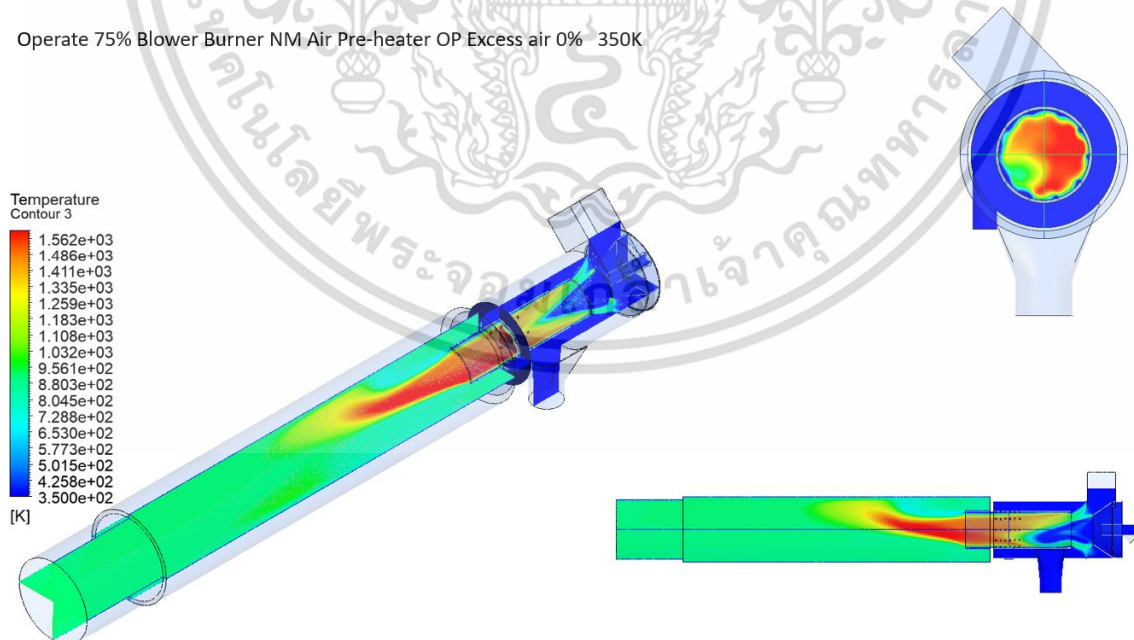
Operate 50% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 350K



รูปที่ 4.20 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.20 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 50 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 127.616 kw

Operate 75% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 350K

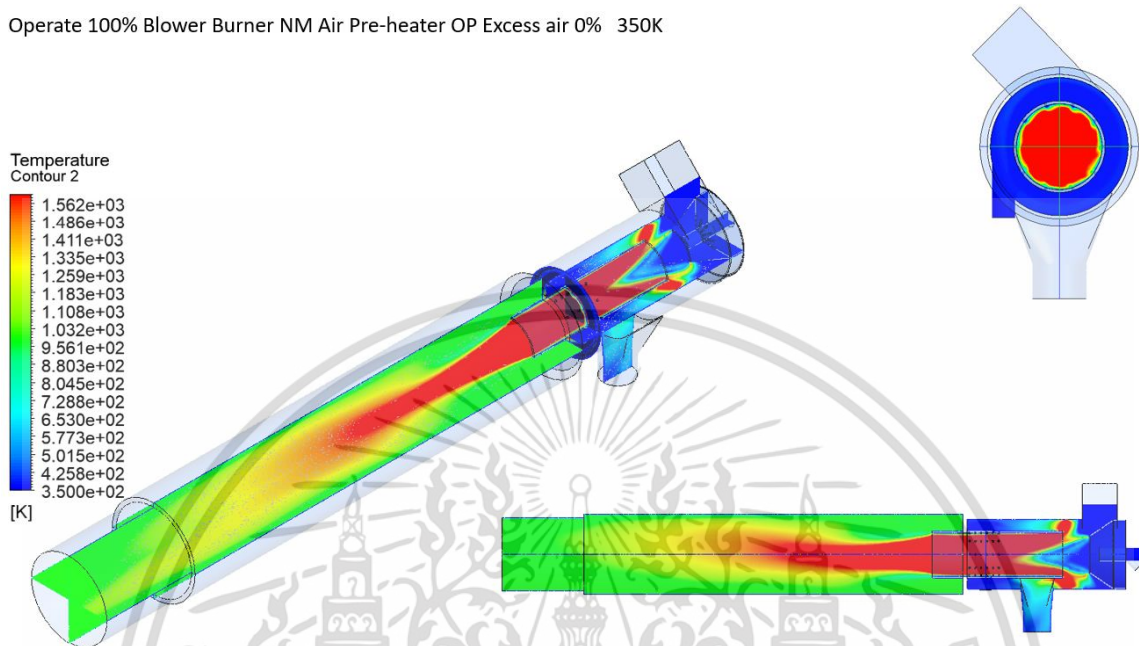


รูปที่ 4.21 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.21 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 75 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 139.973 kw

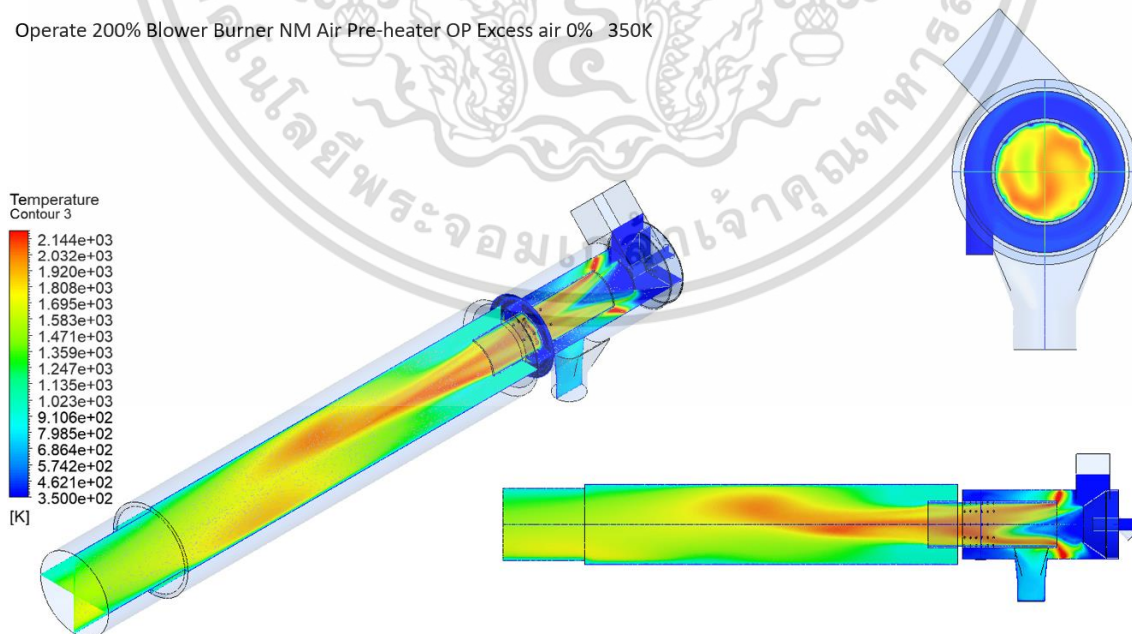
Operate 100% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 350K



รูปที่ 4.22 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.22 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 100 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 145.636 kw

Operate 200% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 350K

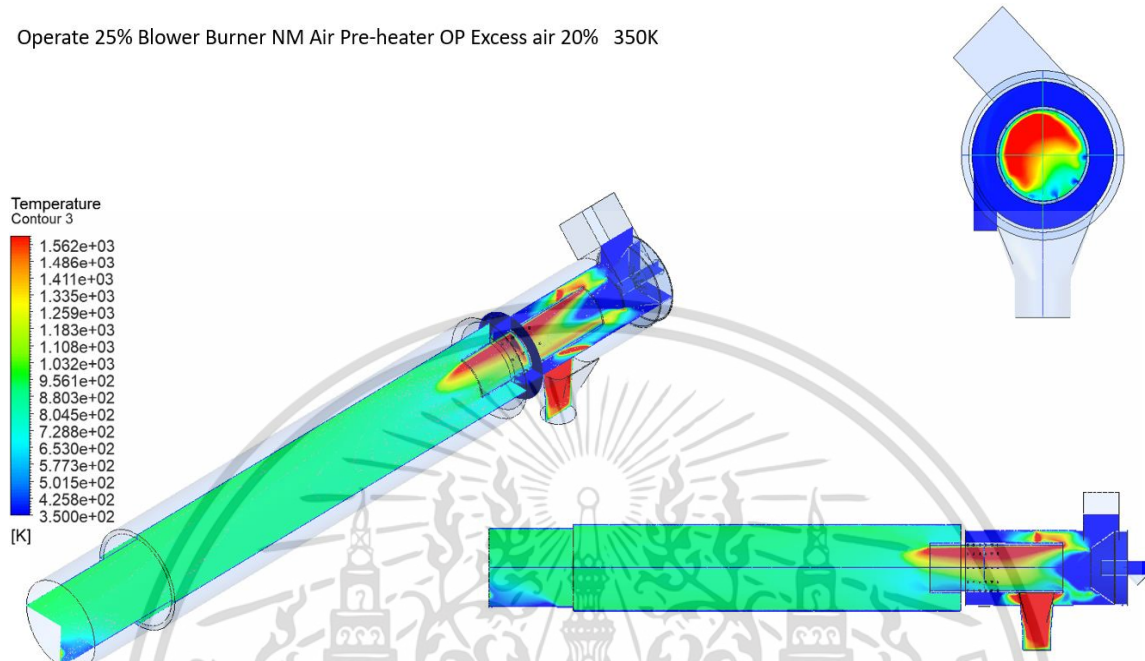


รูปที่ 4.23 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.23 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 200 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 192.532 kw

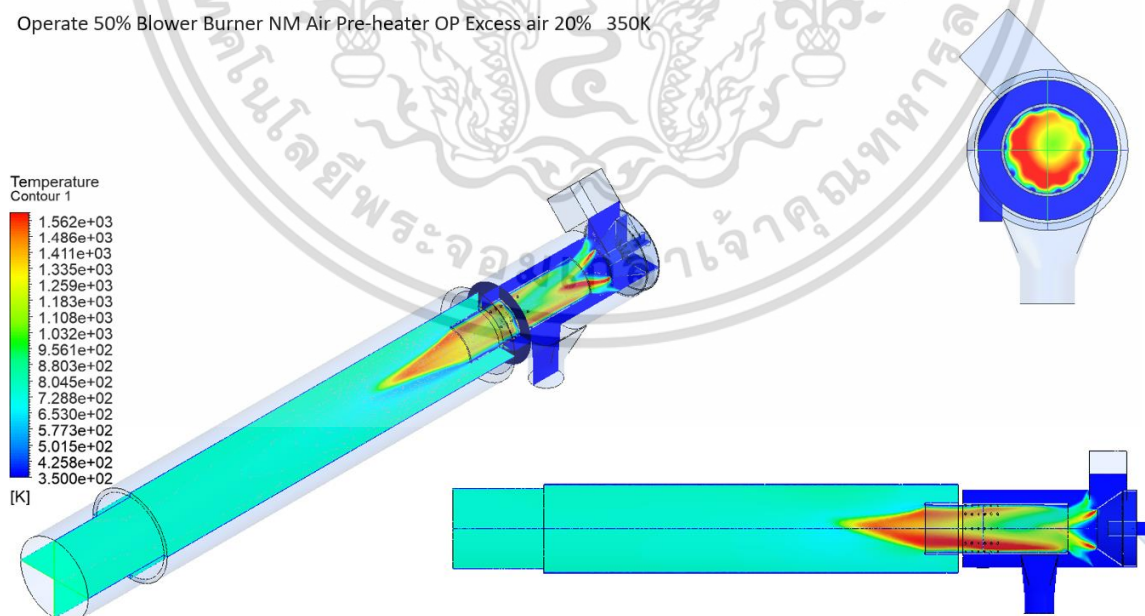
Operate 25% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 350K



รูปที่ 4.24 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.24 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 101.912 kw

Operate 50% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 350K

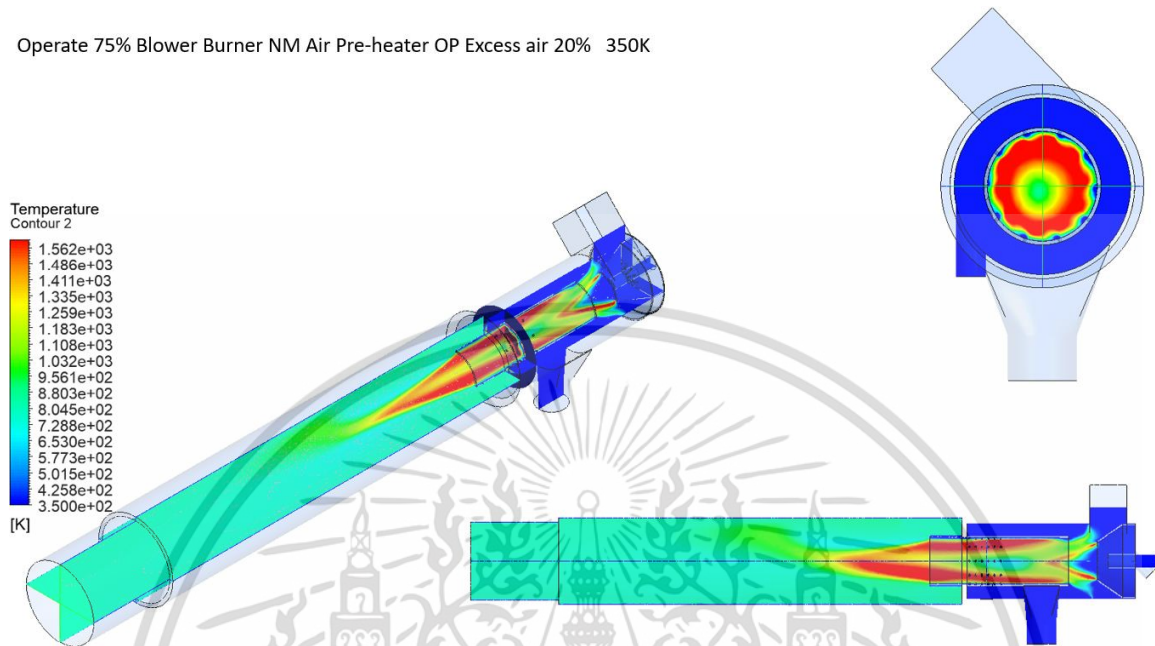


รูปที่ 4.25 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.25 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 129.553 kw

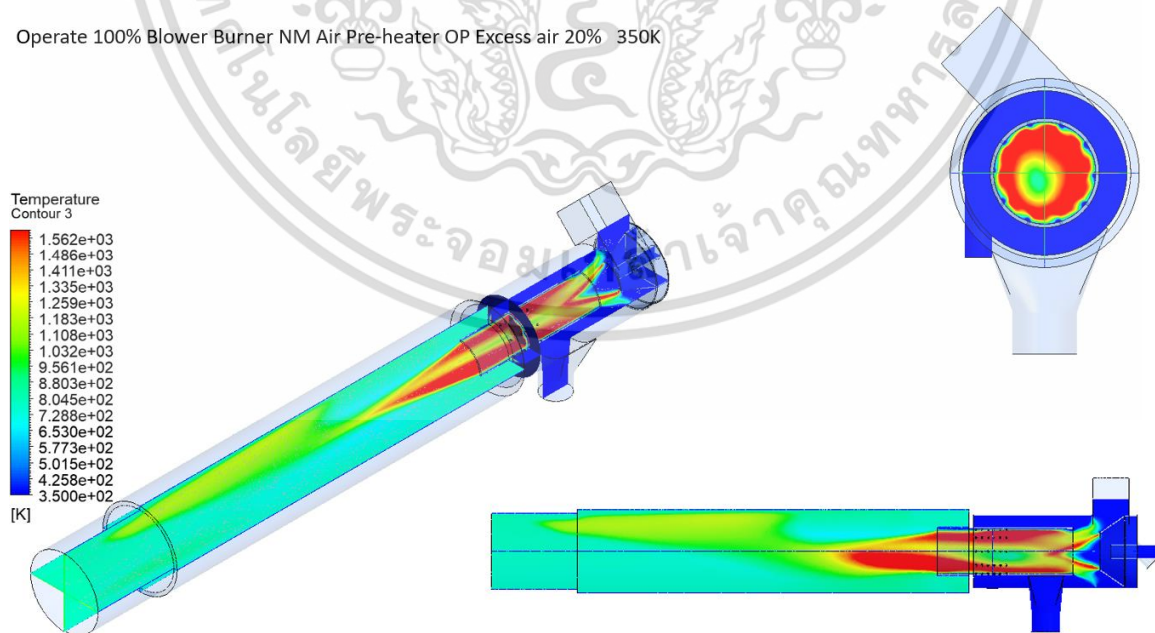
Operate 75% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 350K



รูปที่ 4.26 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.26 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 145.124 kw

Operate 100% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 350K

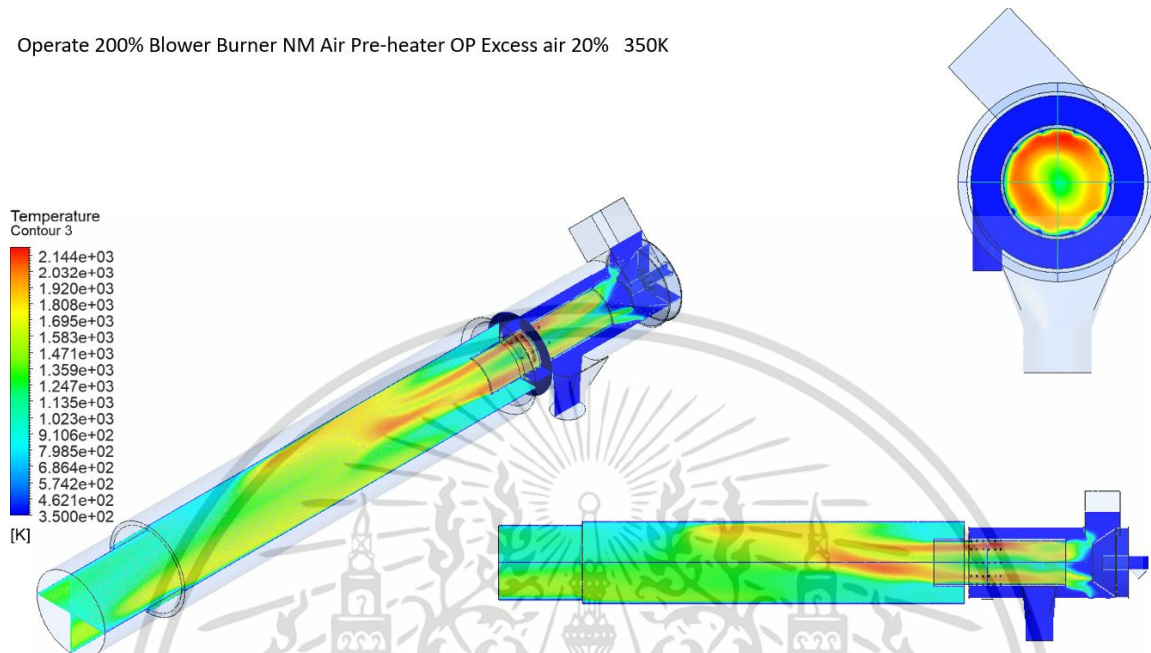


รูปที่ 4.27 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.27 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 157.359 kw

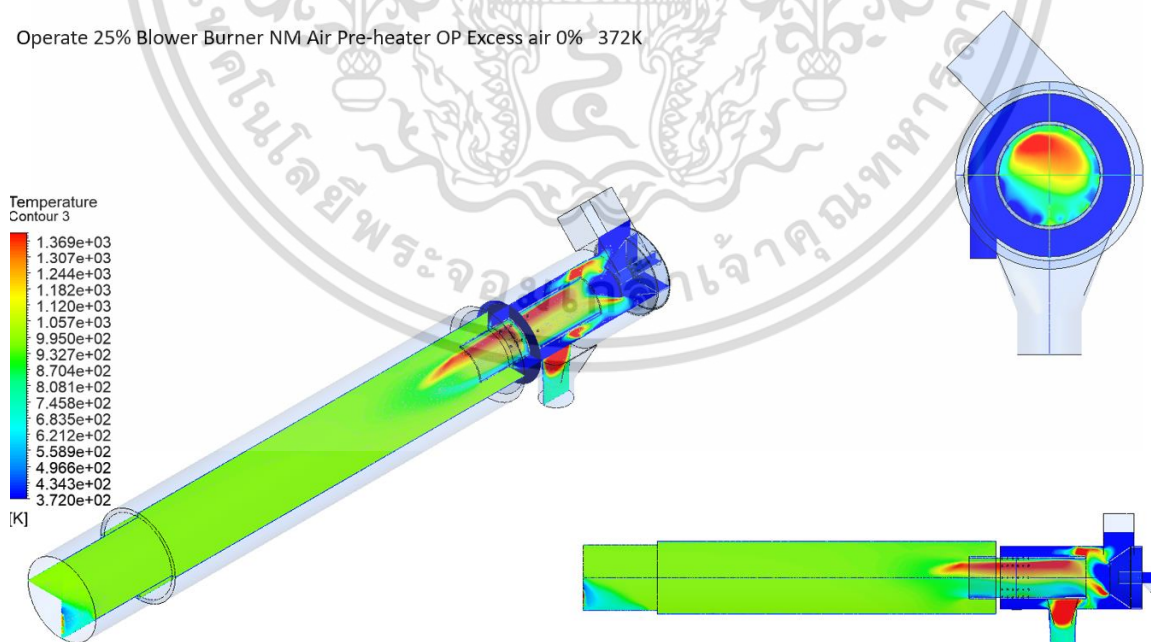
Operate 200% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 350K



รูปที่ 4.28 O-Bm(link Om AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.28 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 183.103 kw

Operate 25% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 372K

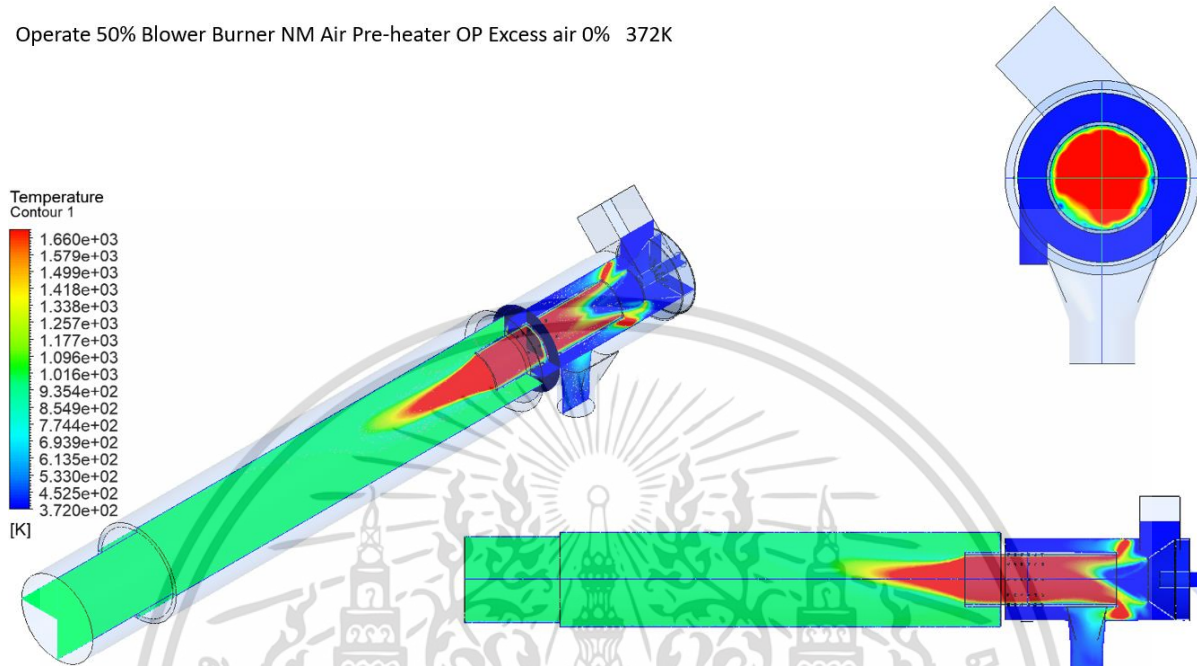


รูปที่ 4.29 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.29 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 25 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 124.227 kw

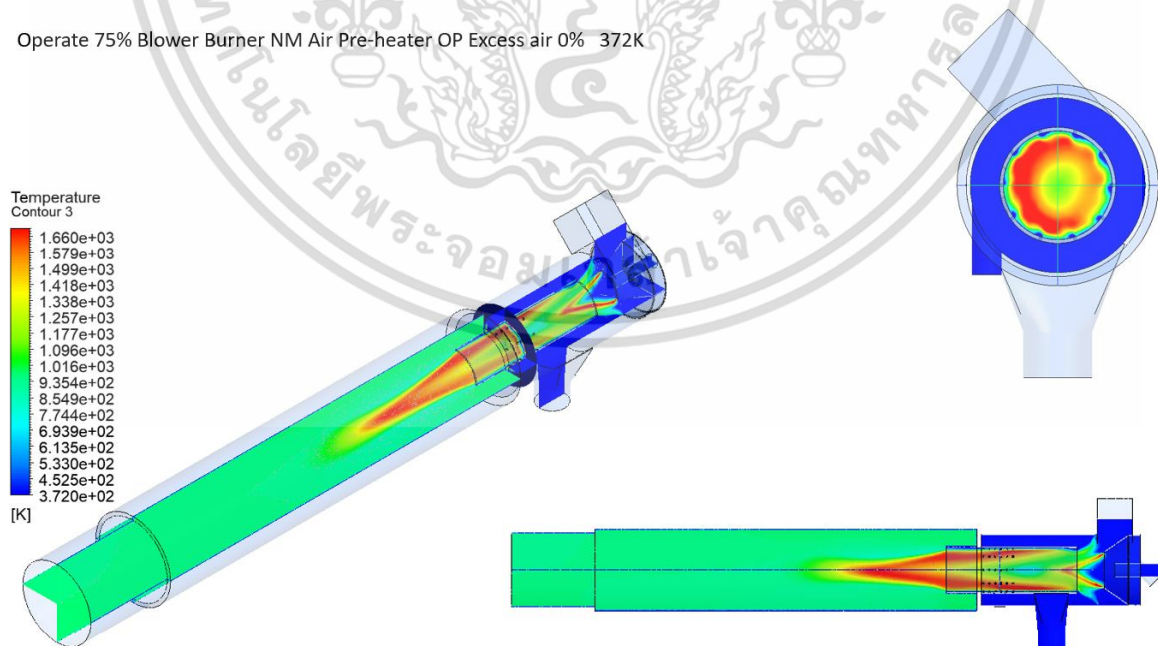
Operate 50% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 372K



รูปที่ 4.30 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.30 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 50 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 127.653 kw

Operate 75% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 372K

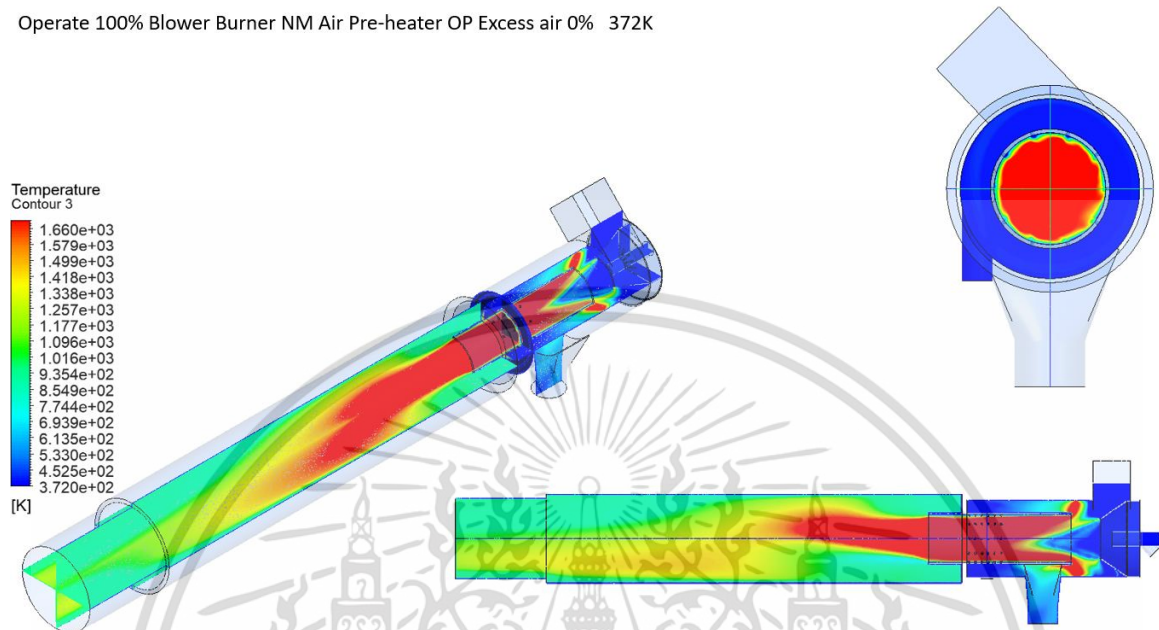


รูปที่ 4.31 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.31 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 75 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 146.012 kw

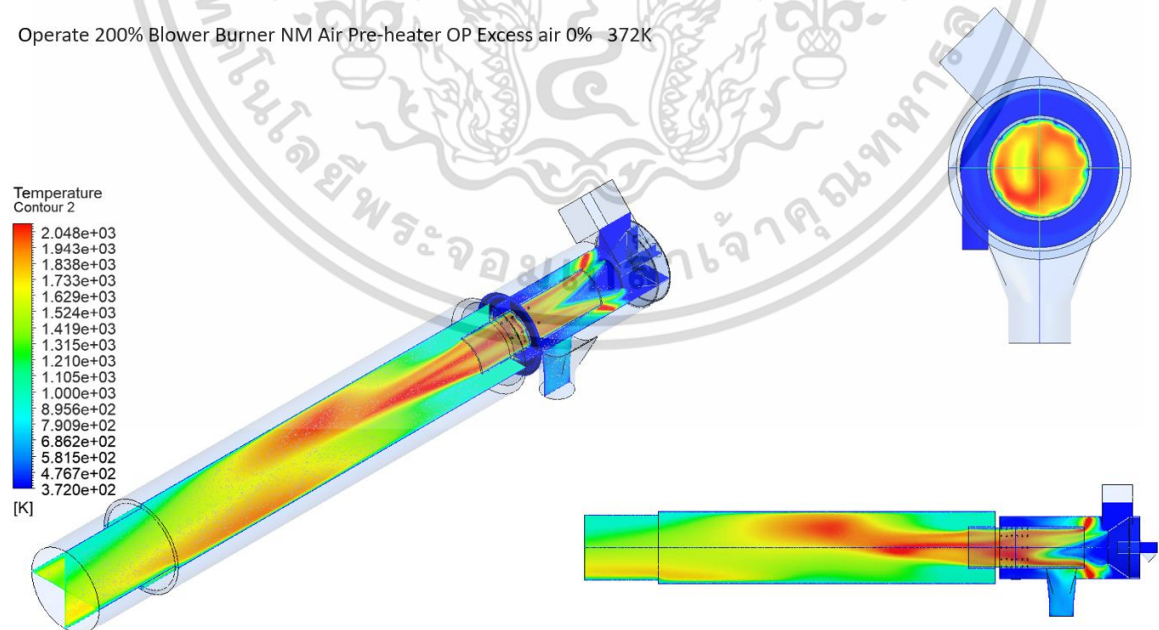
Operate 100% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 372K



รูปที่ 4.32 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.32 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 200 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 147.861 kw

Operate 200% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 0% 372K

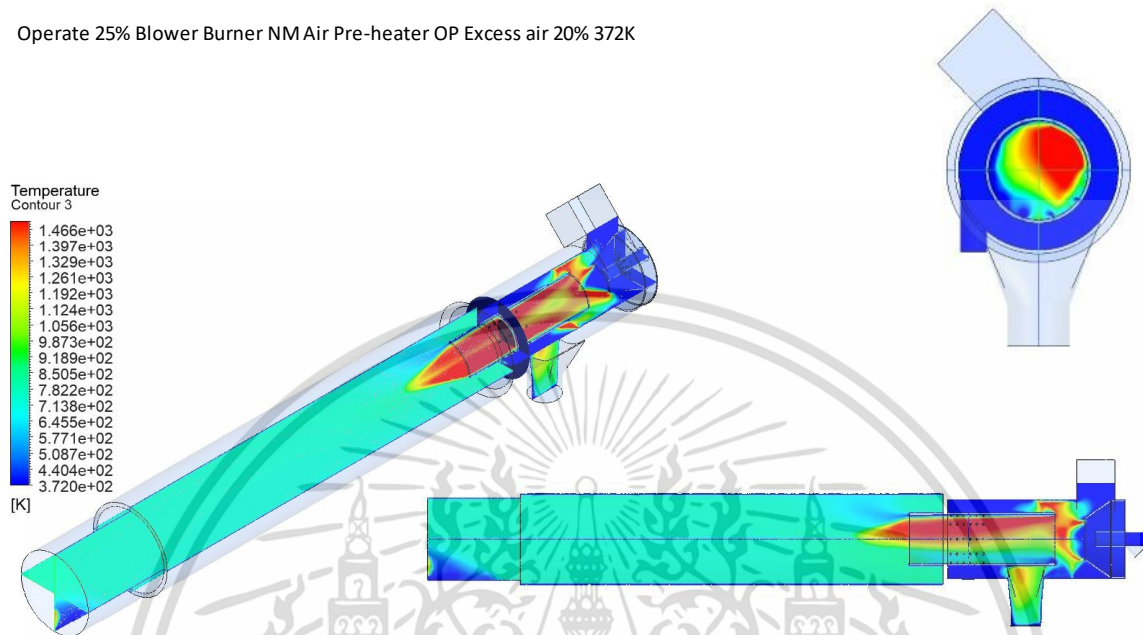


รูปที่ 4.33 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.33 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 200 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 194.707 kw

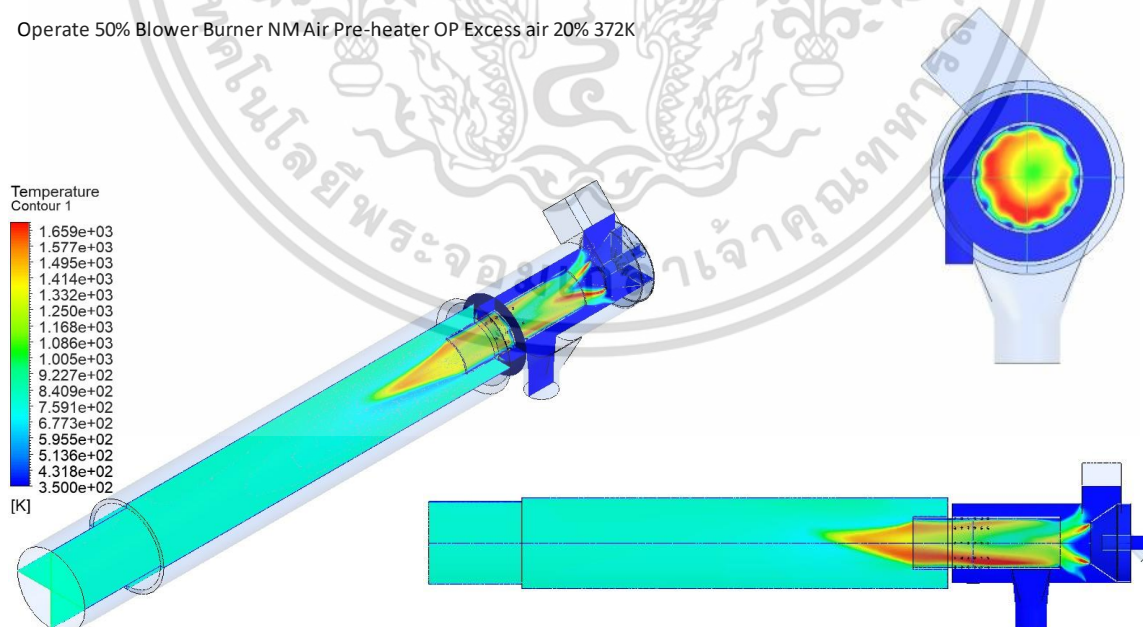
Operate 25% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 372K



รูปที่ 4.34 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.34 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 106.783 kw

Operate 50% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 372K

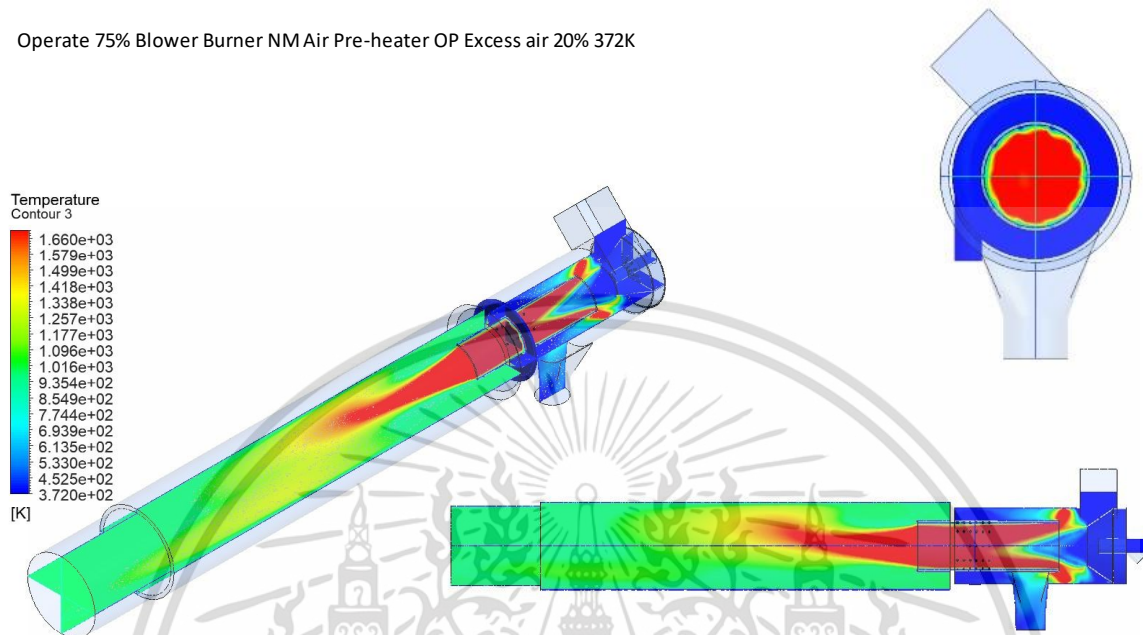


รูปที่ 4.35 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.35 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 129.189 kw

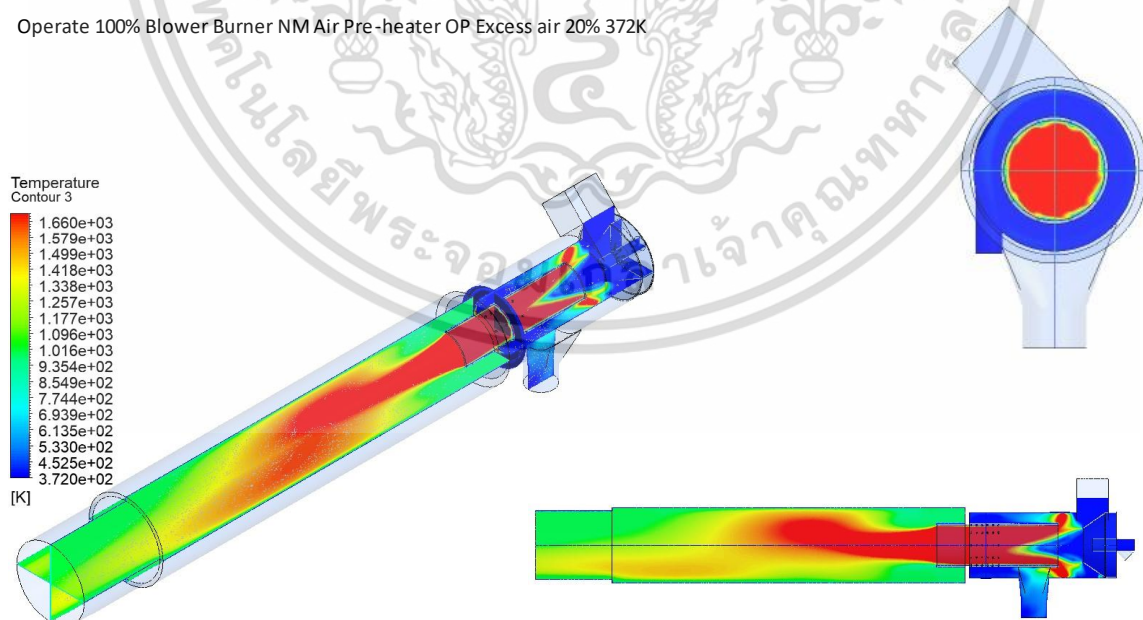
Operate 75% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 372K



รูปที่ 4.36 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.36 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 124.131 kw

Operate 100% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 372K

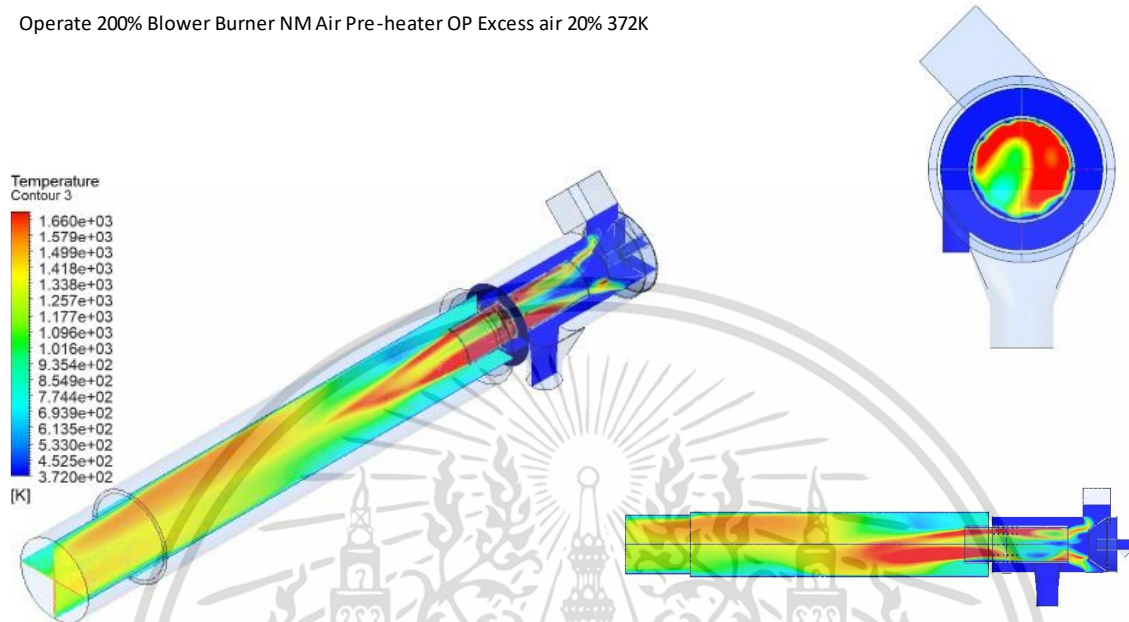


รูปที่ 4.37 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.37 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 135.949 kw

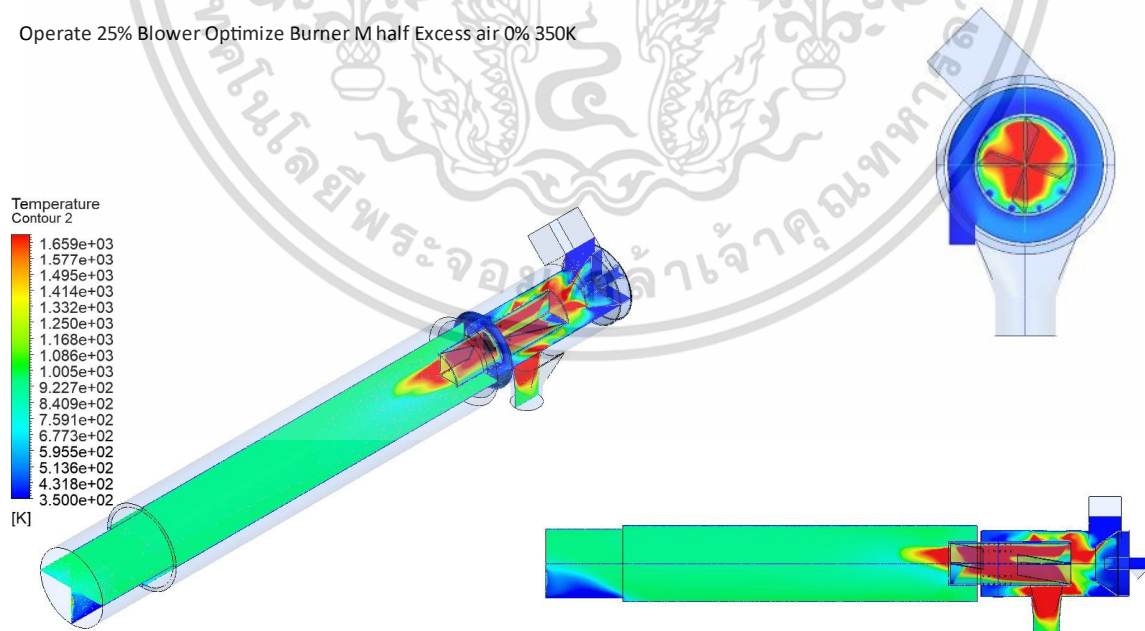
Operate 200% Blower Burner NM Air Pre-heater OP Excess air 20% 372K



รูปที่ 4.38 O-Bm(link Opm AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.38 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 179.860 kw

Operate 25% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 350K

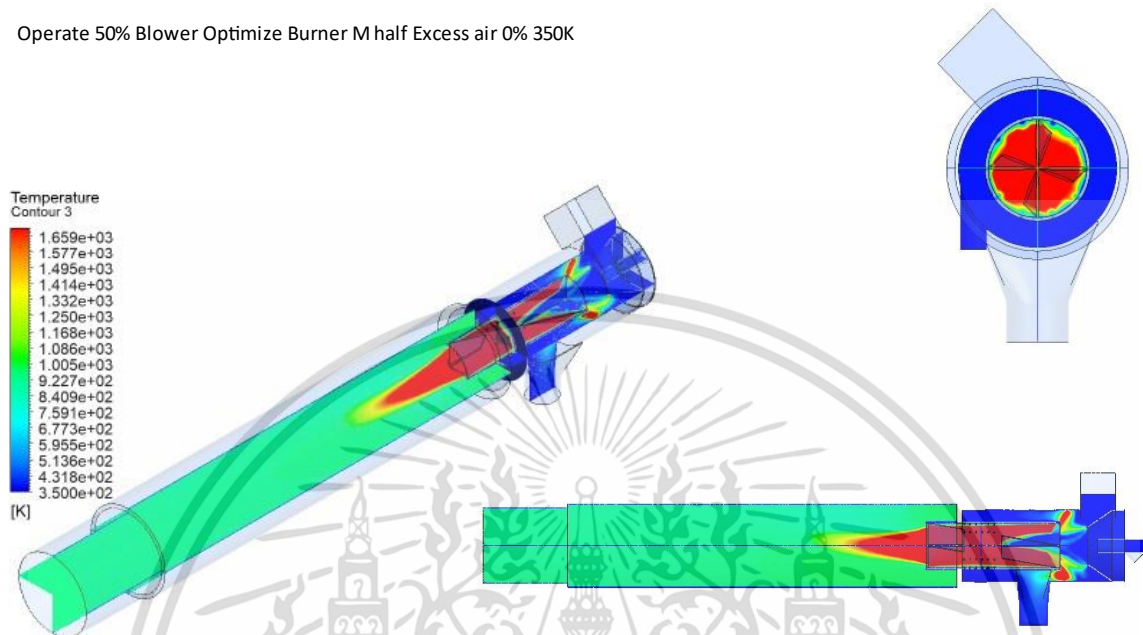


รูปที่ 4.39 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.39 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 25 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 118.784 kw

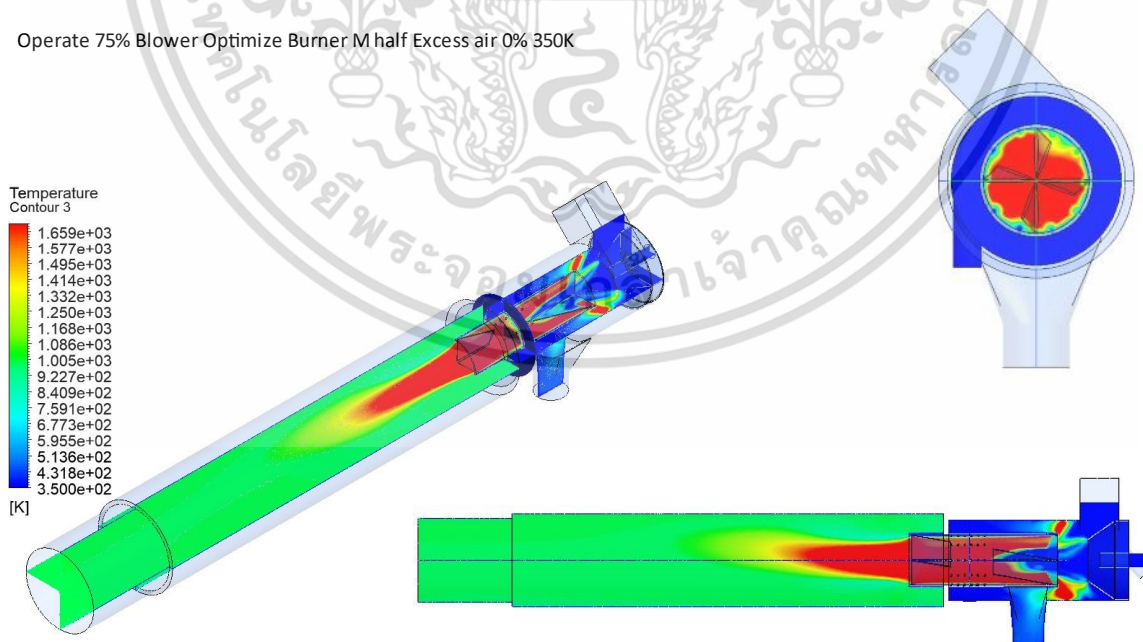
Operate 50% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 350K



รูปที่ 4.40 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.40 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 50 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 128.759 kw

Operate 75% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 350K

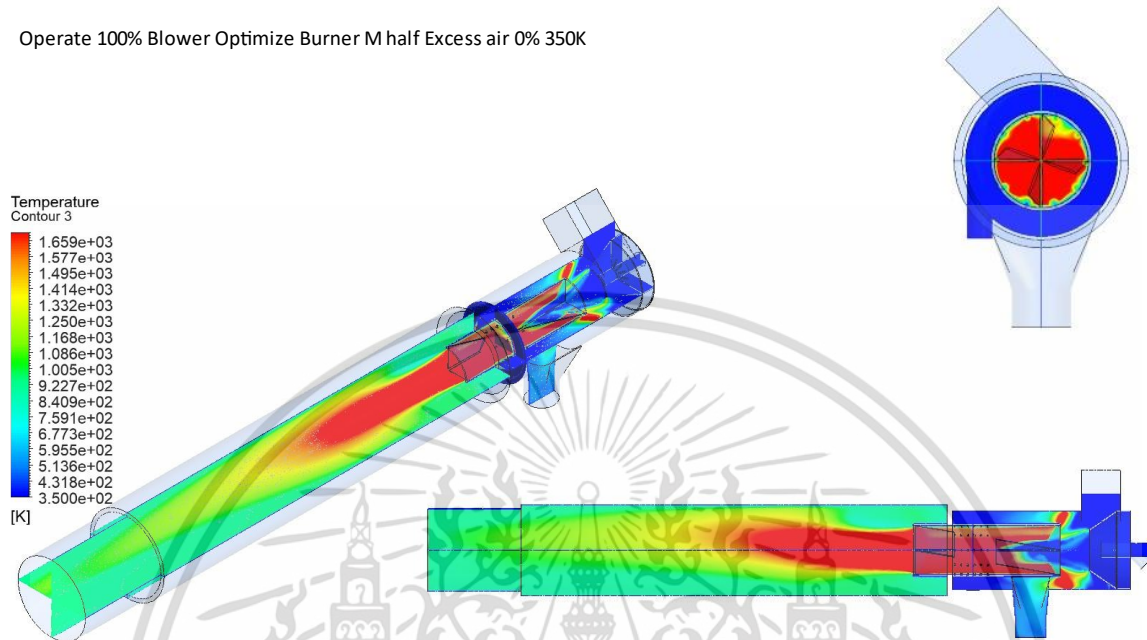


รูปที่ 4.41 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.41 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 75 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 137.399 kw

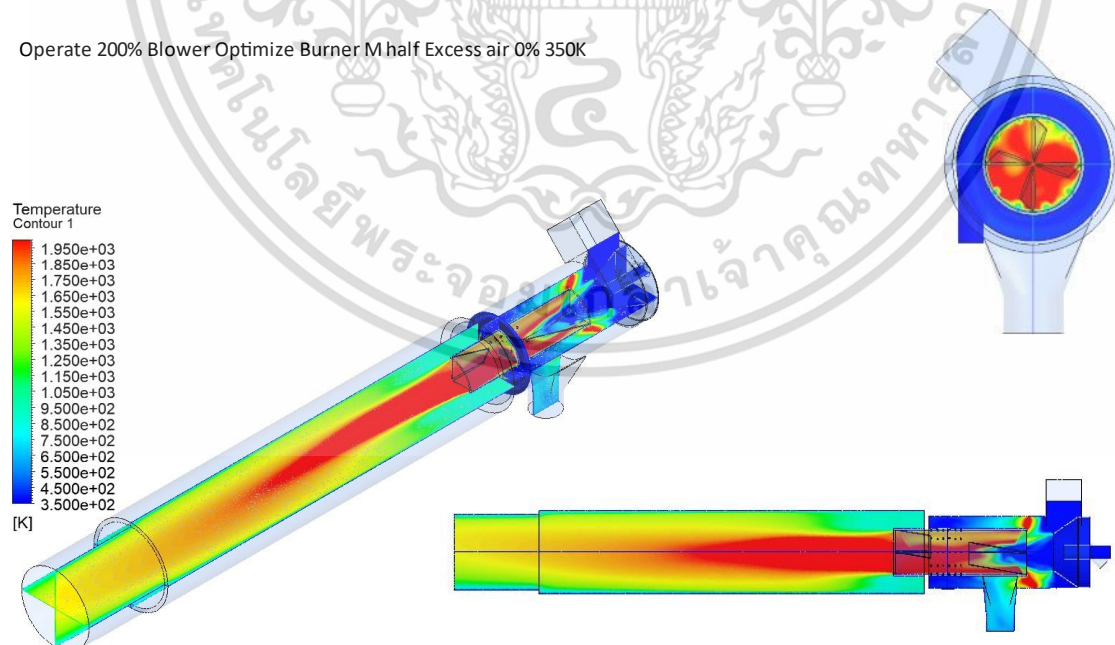
Operate 100% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 350K



รูปที่ 4.42 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.42 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 100 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 152.015 kw

Operate 200% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 350K

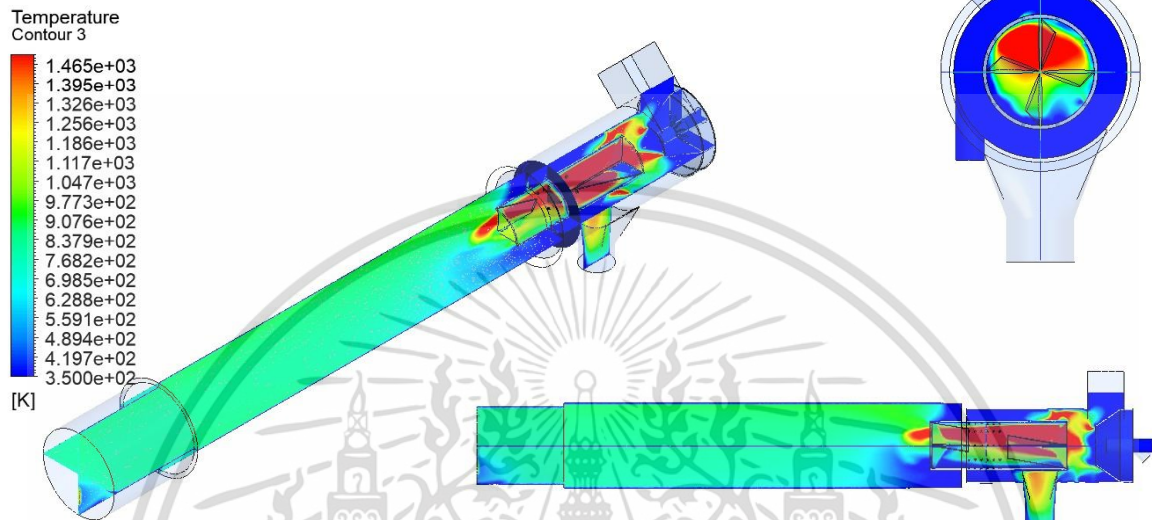


รูปที่ 4.43 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.43 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K อัตราการไหลอากาศ 200 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 185.303 kw

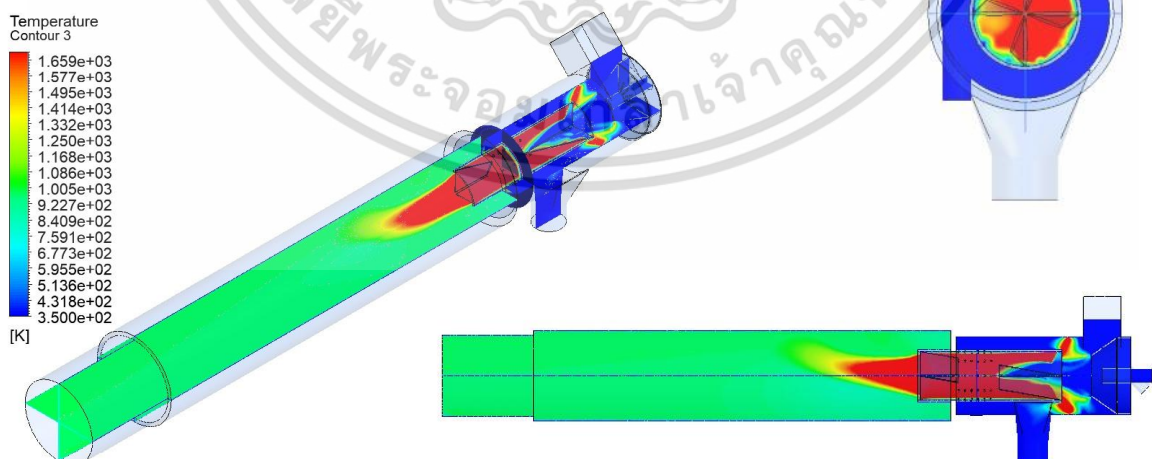
Operate 25% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 350K



รูปที่ 4.44 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.44 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 93.479 kw

Operate 50% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 350K

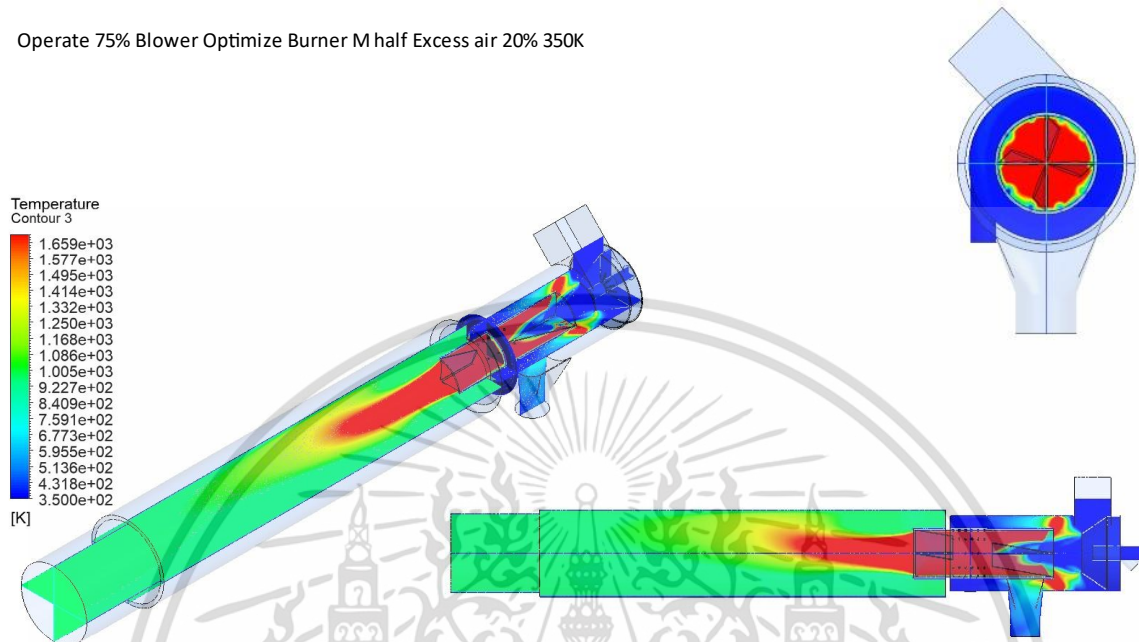


รูปที่ 4.45 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.45 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 100.903 kw

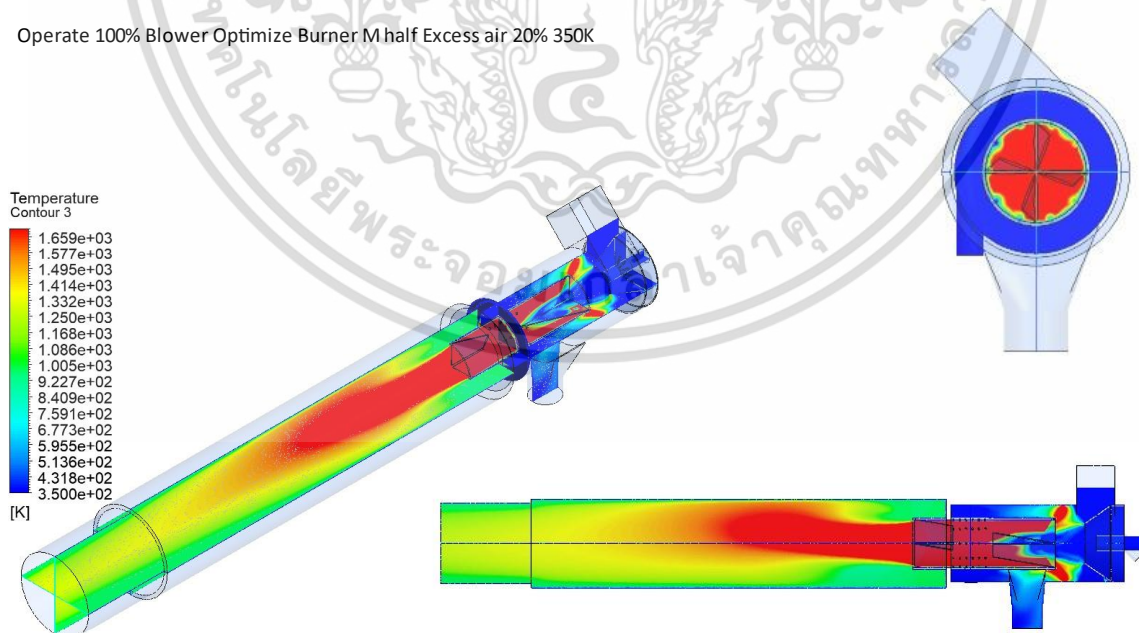
Operate 75% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 350K



รูปที่ 4.46 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.46 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 115.992 kw

Operate 100% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 350K

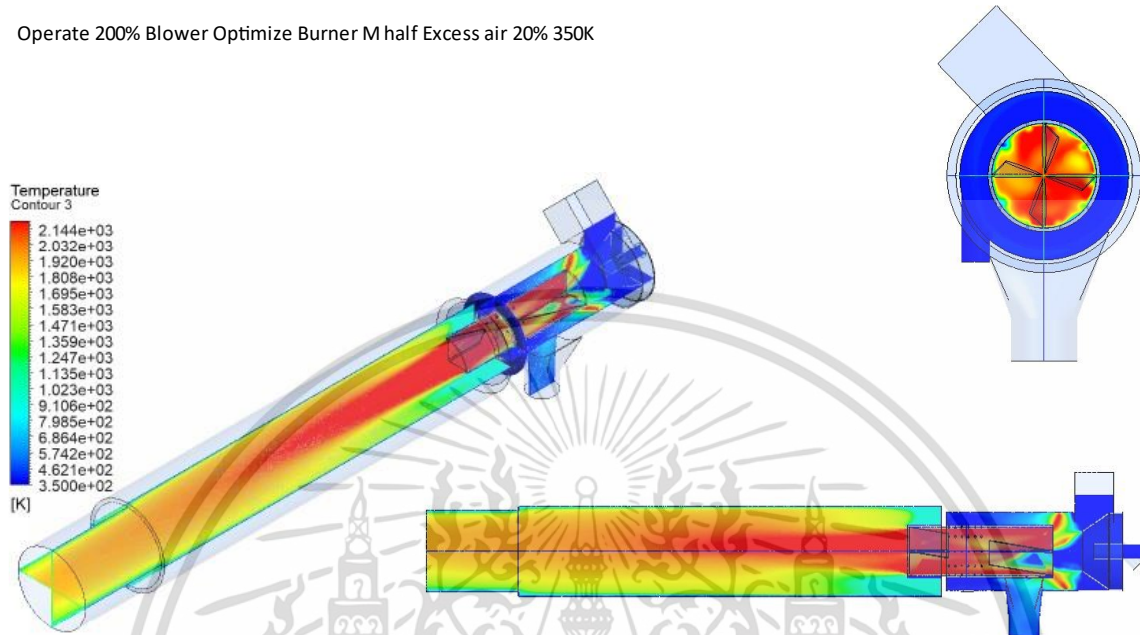


รูปที่ 4.47 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.47 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 126.821 kw

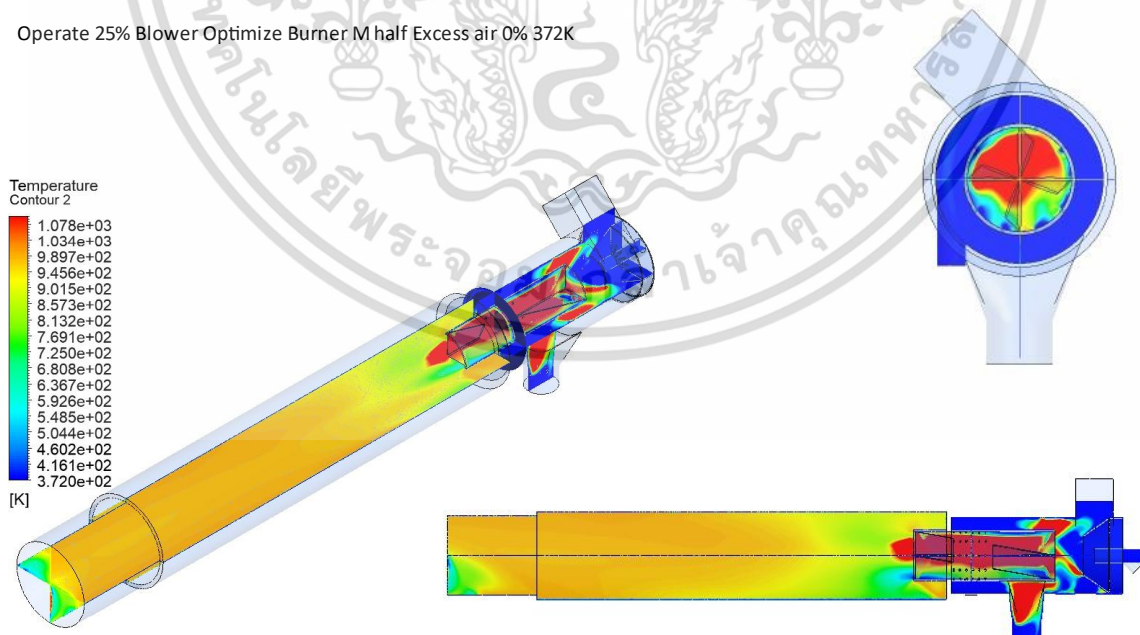
Operate 200% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 350K



รูปที่ 4.48 B-Mhm(link Om AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.48 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 350 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 157.710 kw

Operate 25% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 372K

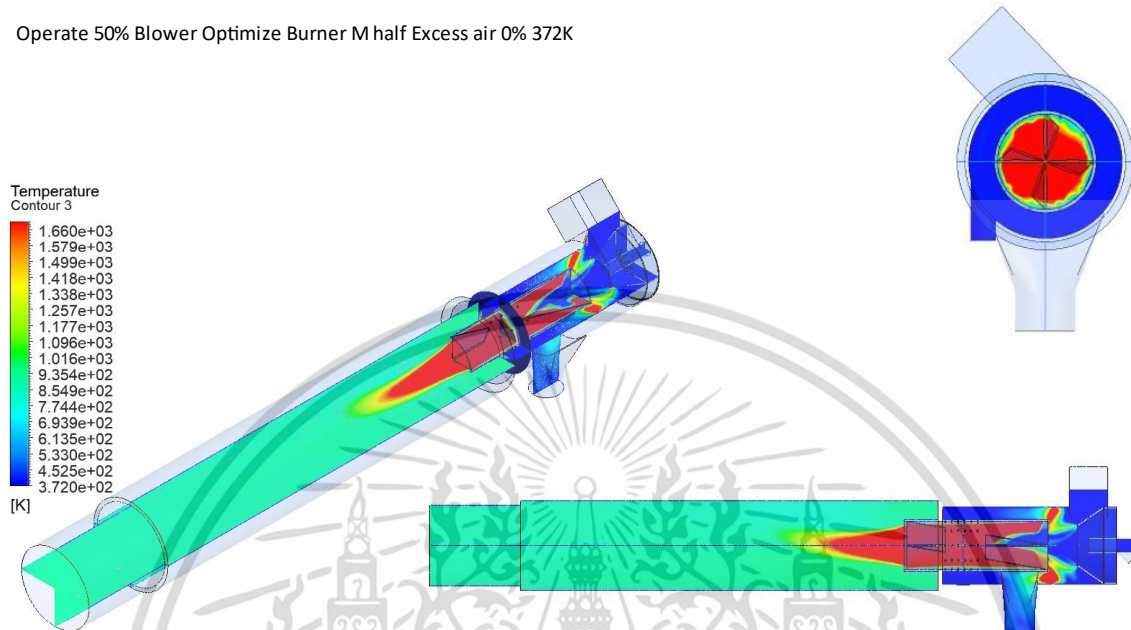


รูปที่ 4.49 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.49 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 25 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 114.294 kw

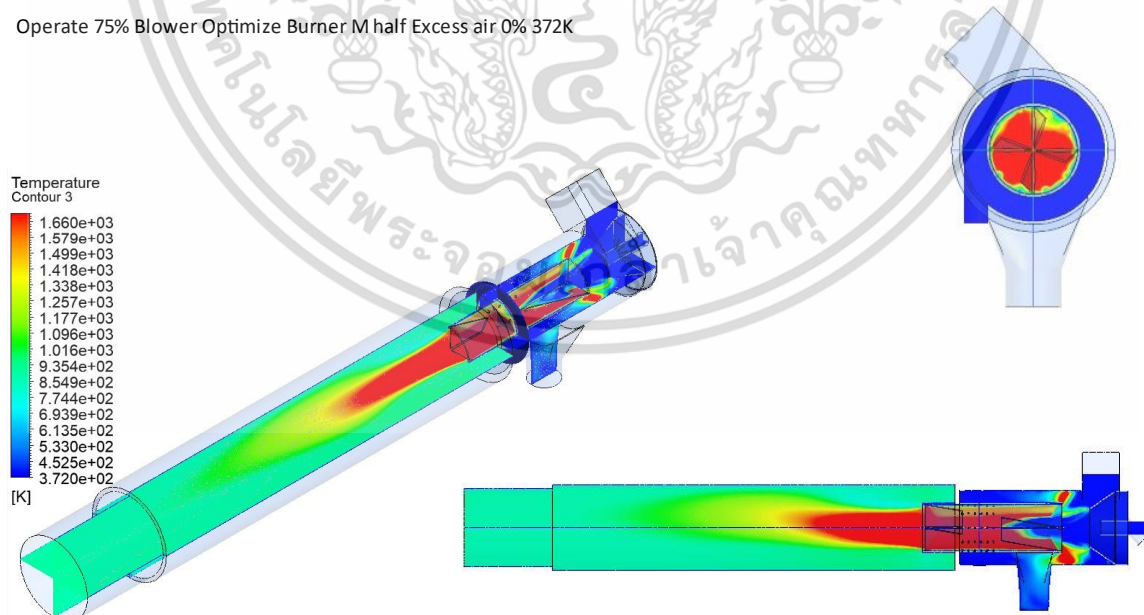
Operate 50% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 372K



รูปที่ 4.50 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.50 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 50 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 130.297 kw

Operate 75% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 372K

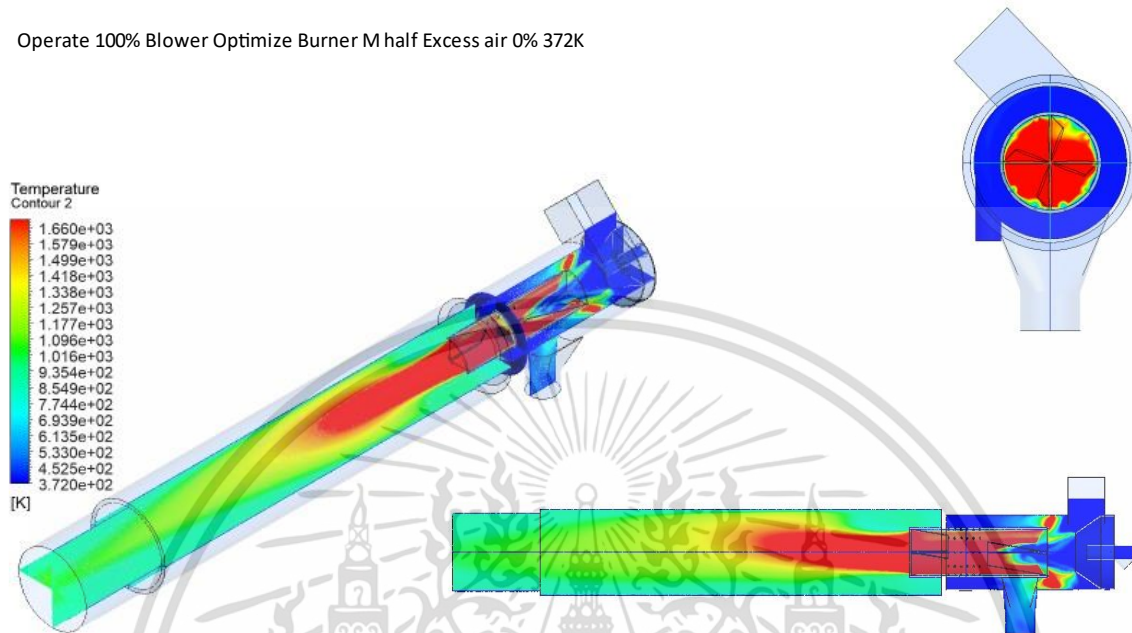


รูปที่ 4.51 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.51 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 75 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 140.908 kw

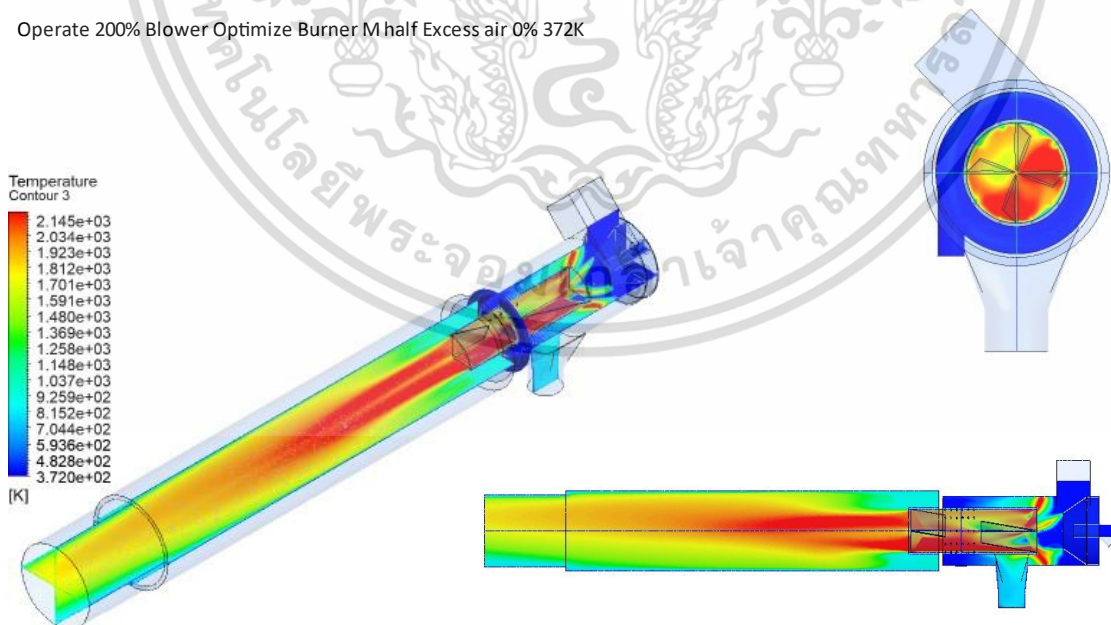
Operate 100% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 372K



รูปที่ 4.52 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 0%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.52 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 100 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 149.077 kw

Operate 200% Blower Optimize Burner M half Excess air 0% 372K

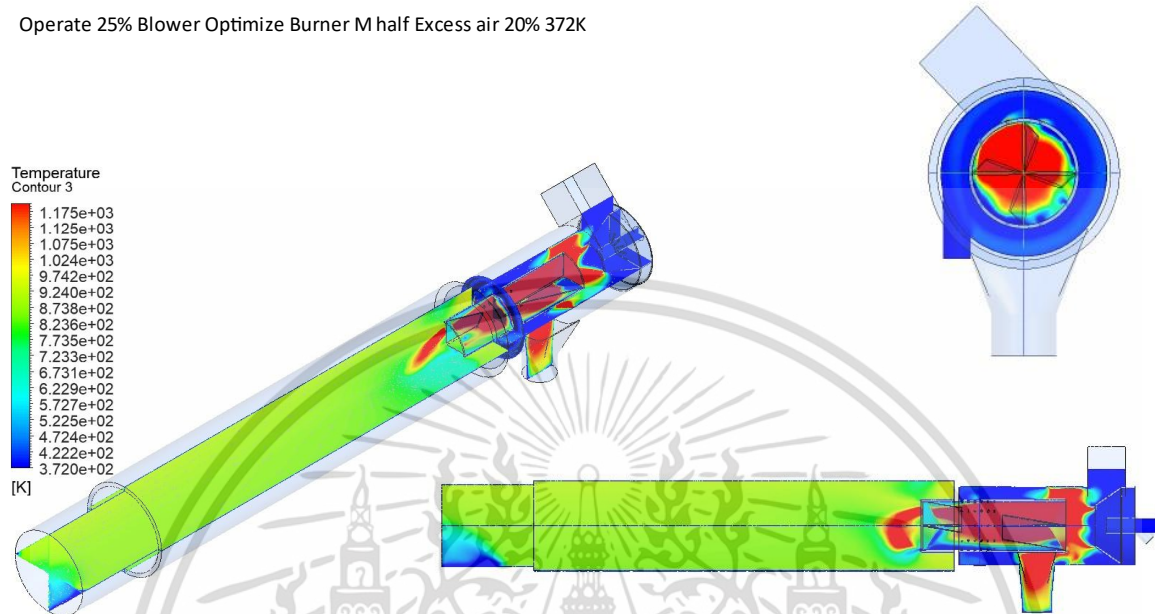


รูปที่ 4.53 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.53 จากเงื่อนไขการเผาไหม้ไม่มีอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K อัตราการไหลอากาศ 200 m³/hr ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 185.847 kw

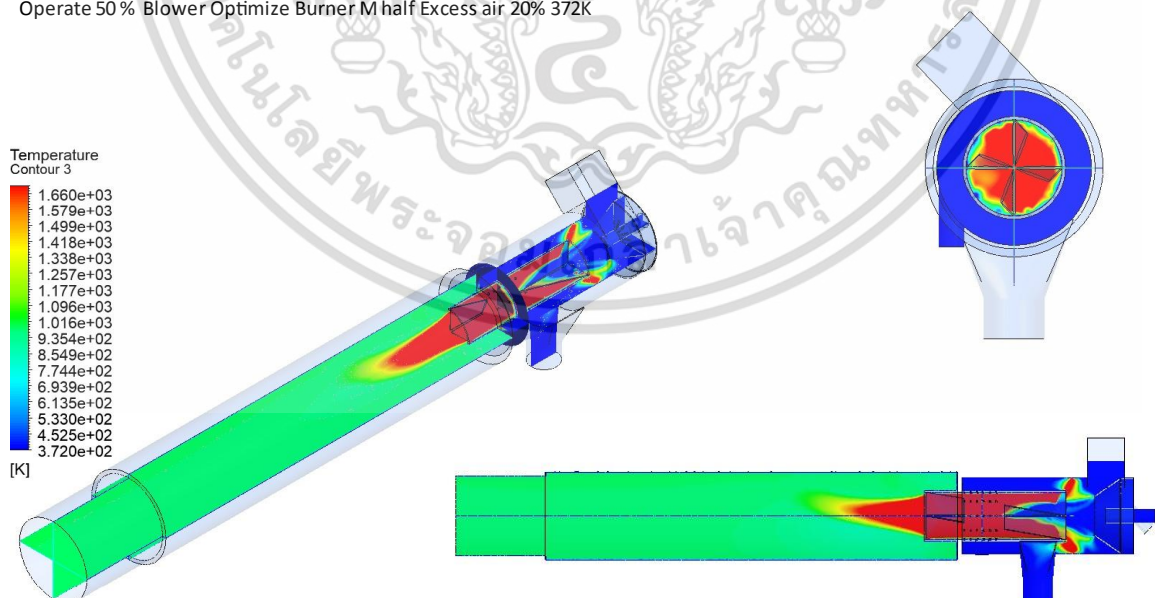
Operate 25% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 372K



รูปที่ 4.54 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 25 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.54 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 105.088 kw

Operate 50 % Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 372K

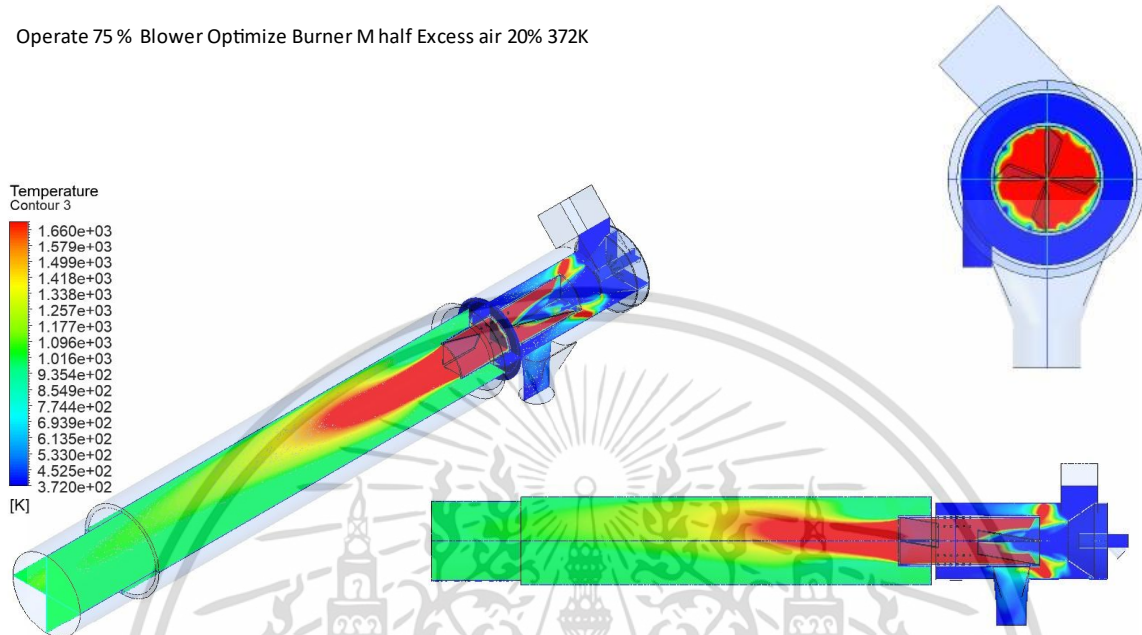


รูปที่ 4.55 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 50 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.55 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 112.014 kw

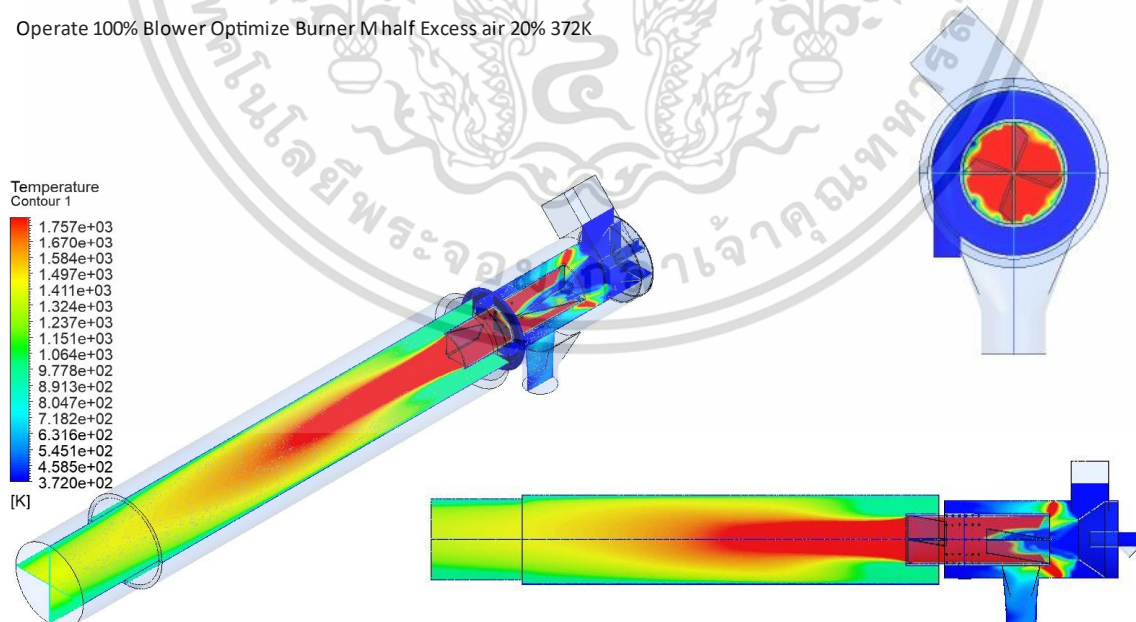
Operate 75 % Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 372K



รูปที่ 4.56 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 75 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.56 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 120.796 kw

Operate 100% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 372K

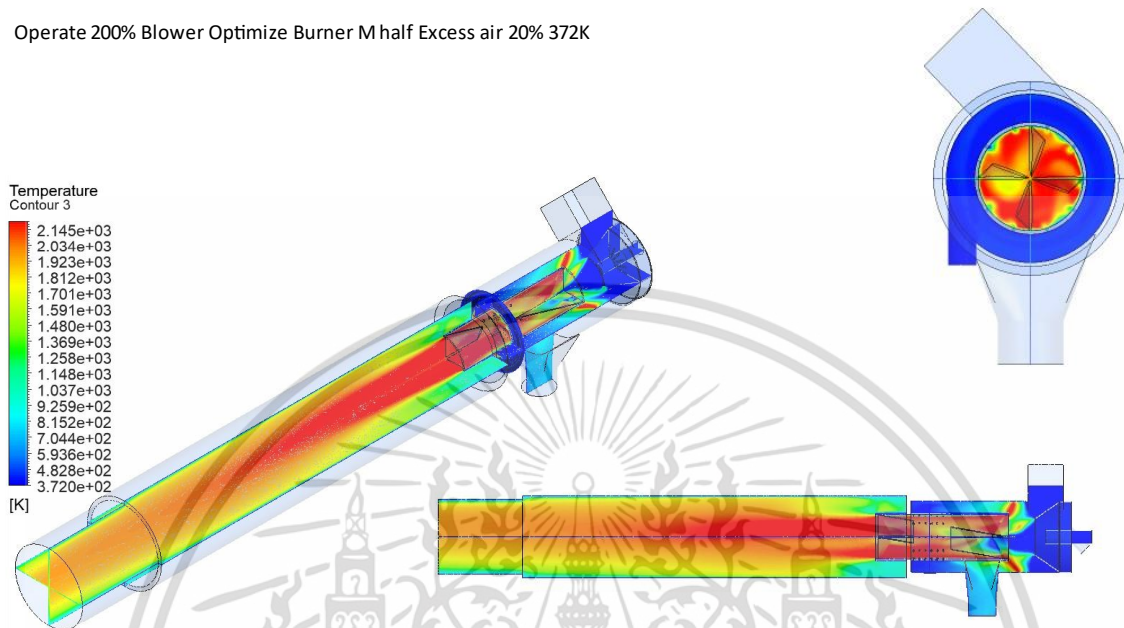


รูปที่ 4.57 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 100 m³/hr Excess air 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

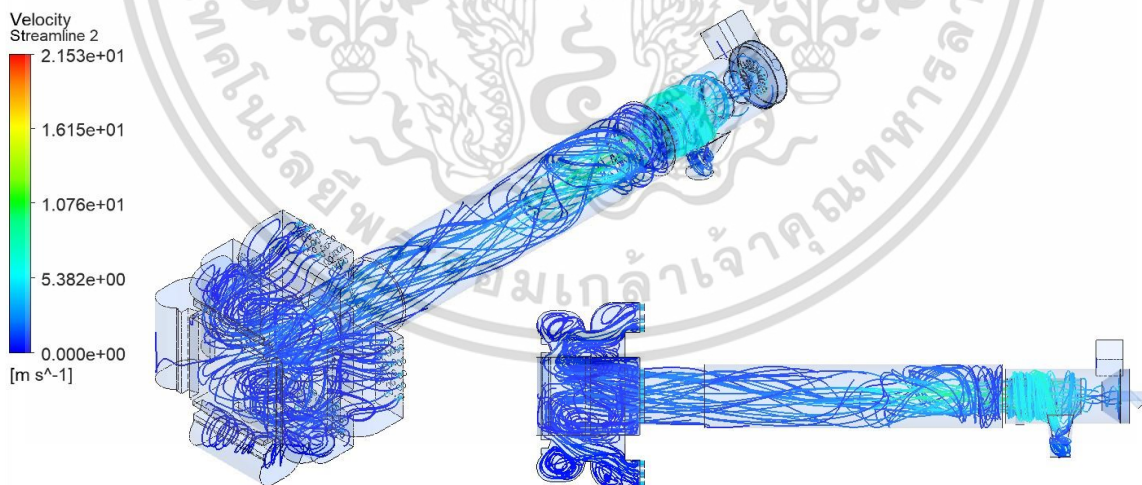
การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.57 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 135.823 kw

Operate 200% Blower Optimize Burner M half Excess air 20% 372K



รูปที่ 4.58 B-Mhm(link Opm AP-H) Operate air 200 m³/hr Excess air 20%

การจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สหัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ ดังรูปที่ 4.58 จากเงื่อนไขการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกิน 20% อุณหภูมิอากาศด้านเข้า 372 K ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 161.304 kw

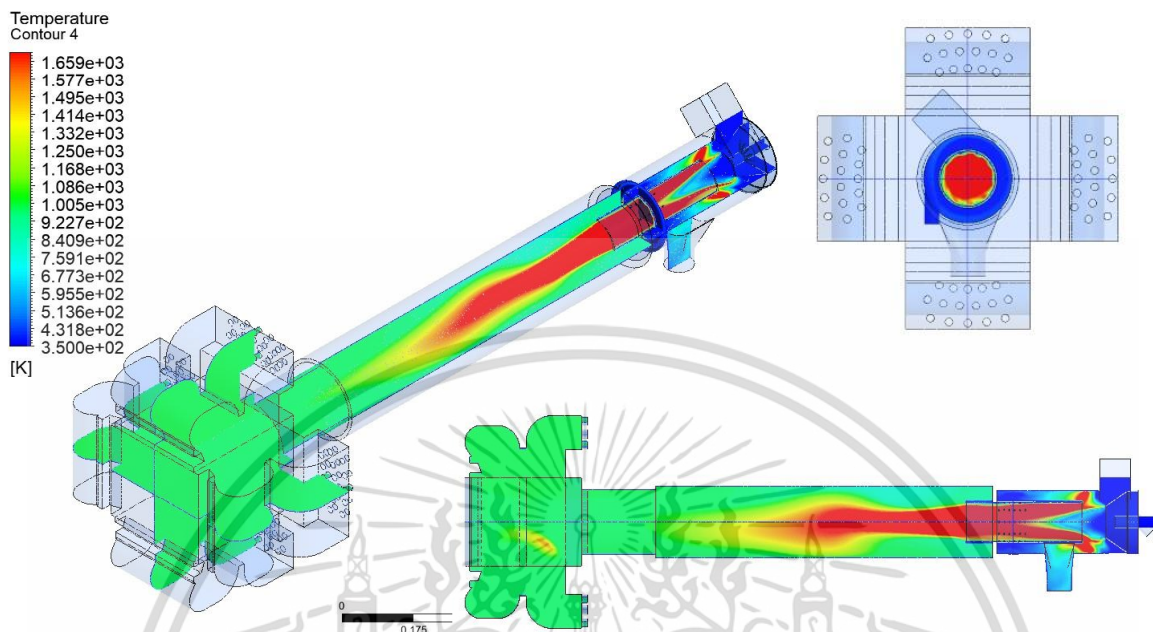


รูปที่ 4.59 แบบจำลองแสดงการไหลของแก๊สร้อนในห้องเผาไหม้

การจำลองการไหลของแก๊สระหว่างเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้และห้องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วิเคราะห์ลักษณะการไหลของแก๊สไอเสียหลังจากเผาไหม้ ตรวจสอบการไหลในห้องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จากรูปที่ 4.59 พบว่ามีการไหลของแก๊สไอเสียอย่างสม่ำเสมอและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วคงที่ จึงมีโอกาสทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น โดยความเร็วเฉลี่ยทางออกจะอยู่ที่ 4 m/s



รูปที่ 4.60 จำลองการเผาไหม้ซินแก๊สในห้องเผาไหม้เมื่อต่อกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงซินแก๊สที่ อัตราการไหลของอากาศ 100 m³/hr และมีเผาไหม้พอดี จากรูปที่ 4.60 จะเห็นได้ว่าเมื่อต่อแบบจำลองห้องเผาไหม้เข้ากับห้องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ลักษณะการกระจายอุณหภูมิเหมือนกับรูปที่ 4.60 ส่วนการกระจายอุณหภูมิในห้องแลกเปลี่ยนความร้อนคงที่ จึงสรุปได้ว่าการไหลของแก๊สไอเสียอย่างสม่ำเสมอซึ่งจะมีผลทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ตารางที่ 4.1 The amount of heat from the combustion of syngas

Case	HEAT RATE (kW)		HEAT LOST (kW)		Combustion Efficiency
	Heat generates	Exhaust gas	Steel-wall	Burner-wall	(%)
1. O-Bm (link Om AP-H)	145.636	88.412	39.042	10.181	60.70
2. O-Bm (link Opm AP-H)	147.861	92.867	37.502	9.899	62.80
3. B-Mhm (link Om AP-H)	152.015	96.054	37.770	10.525	63.18
4. B-Mhm (link Opm AP-H)	149.077	98.317	34.439	9.422	65.95

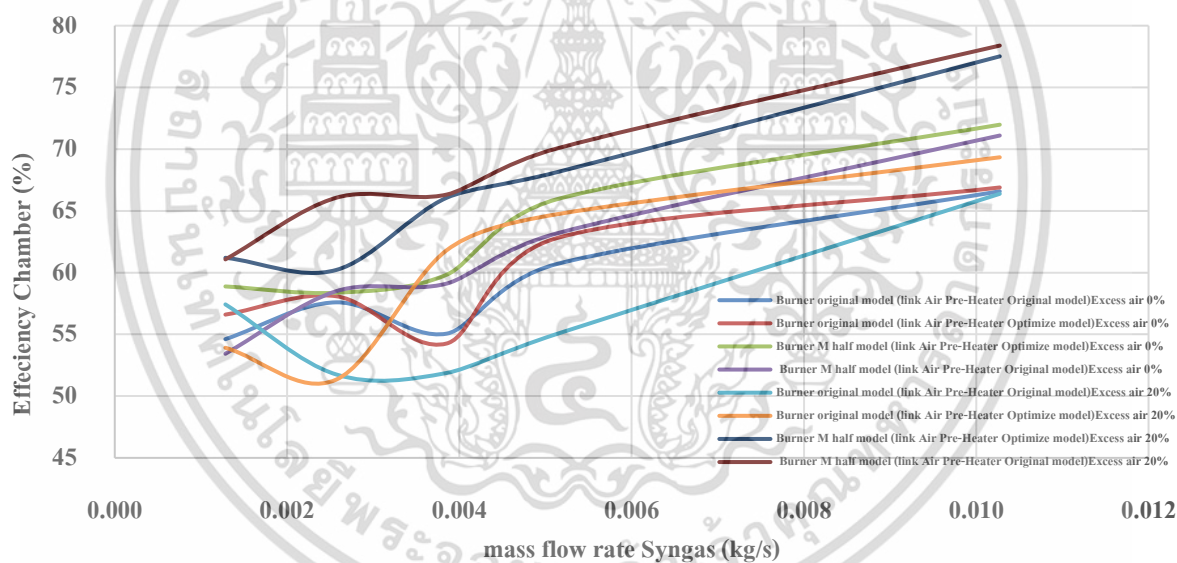
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊ส ปริมาณความร้อนสูงสุดที่ได้รับจากการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เมื่อหัวเผาปรับปรุงต่อกับเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกัน แต่แบบจำลองที่ 4 จะมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.2 Exhaust gas composition from syngas combustion

Case	Exhaust gas Components (mass fraction)								
	CH ₄	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	COS
1. O-Bm (link Om AP-H)	3.8E-05	4.3E-02	3.7E-03	5.3E-01	2.7E-07	3.4E-01	7.8E-02	3.74E-06	2.66E-05
2. O-Bm (link Opm AP-H)	7.4E-06	4.1E-02	2.8E-03	5.4E-01	2.3E-06	3.3E-01	8.4E-02	7.52E-06	2.26E-05
3. B-Mhm (link Om AP-H)	1.6E-05	3.9E-02	3.2E-03	5.3E-01	1.3E-06	3.4E-01	8.1E-02	2.32E-07	2.22E-05
4. B-Mhm (link Opm AP-H)	2.6E-07	1.5E-02	1.0E-03	5.6E-01	5.3E-05	3.3E-01	8.8E-02	6.16E-08	2.16E-05

แก๊สไอเสียที่ได้รับเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงหลังจากนั้นจะไหลผ่านเครื่องอุ่นอากาศก่อนออกจากปล่องระบายแก๊สต่อไป ถ้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นจาก 350 K เป็น 372 K ปริมาณคงเหลือของ CH₄, CO และ H₂ ลดลง

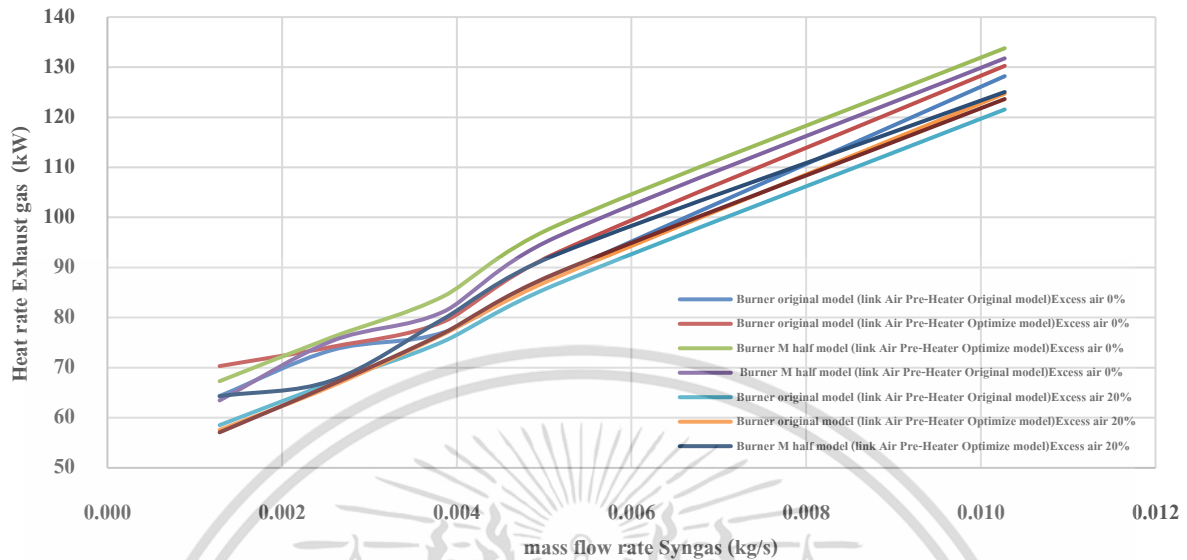


รูปที่ 4.61 แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการเผาไหม้กับอัตราการให้ซินแก๊ส

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ซินแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้เชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.61 จะมีทั้งหมด 8 รูปแบบ 1. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกันอากาศ และไม่มีอากาศส่วนเกิน 2. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกันอากาศ และไม่มีอากาศส่วนเกิน 3. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกันอากาศ 15 แผ่น และไม่มีอากาศส่วนเกิน 4. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกันอากาศ 15 แผ่น และไม่มีอากาศส่วนเกิน 5. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกันอากาศ และมีอากาศส่วนเกิน 20% 6. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกันอากาศ และมีอากาศส่วนเกิน 20% 7. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

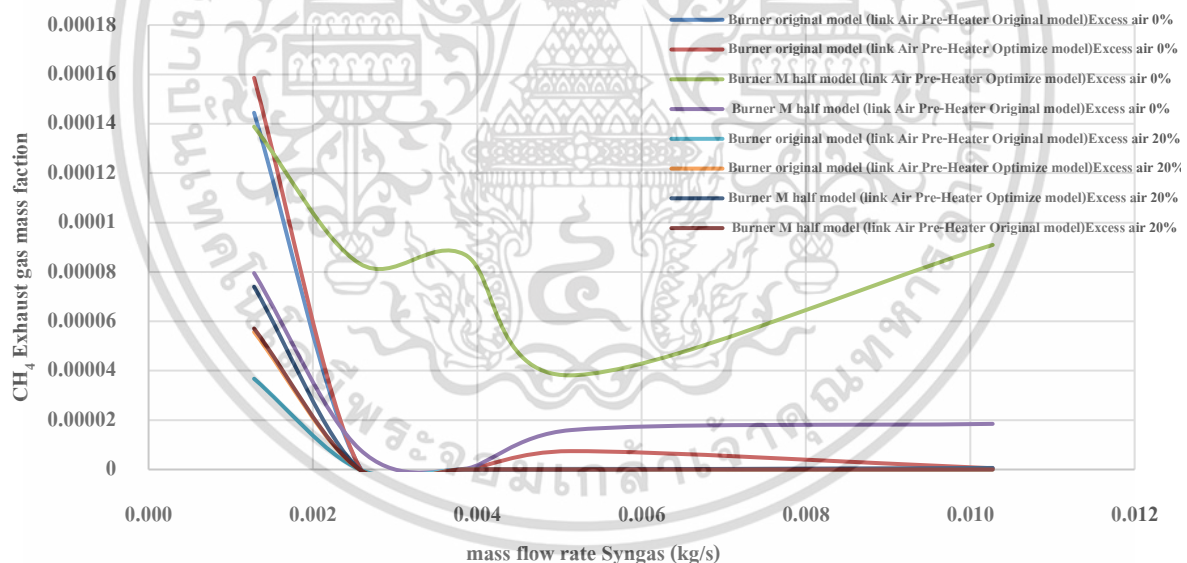
กันอากาศ 15 แผ่น และมีอากาศส่วนเกิน 20% 8. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกันอากาศ 15 แผ่น และมีอากาศส่วนเกิน 20%



รูปที่ 4.62 แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการเผาไหม้กับอัตราการใช้ซินแก๊ส

ปริมาณความร้อนแก๊สไอเสียจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้เชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.62 จะมีทั้งหมด 8

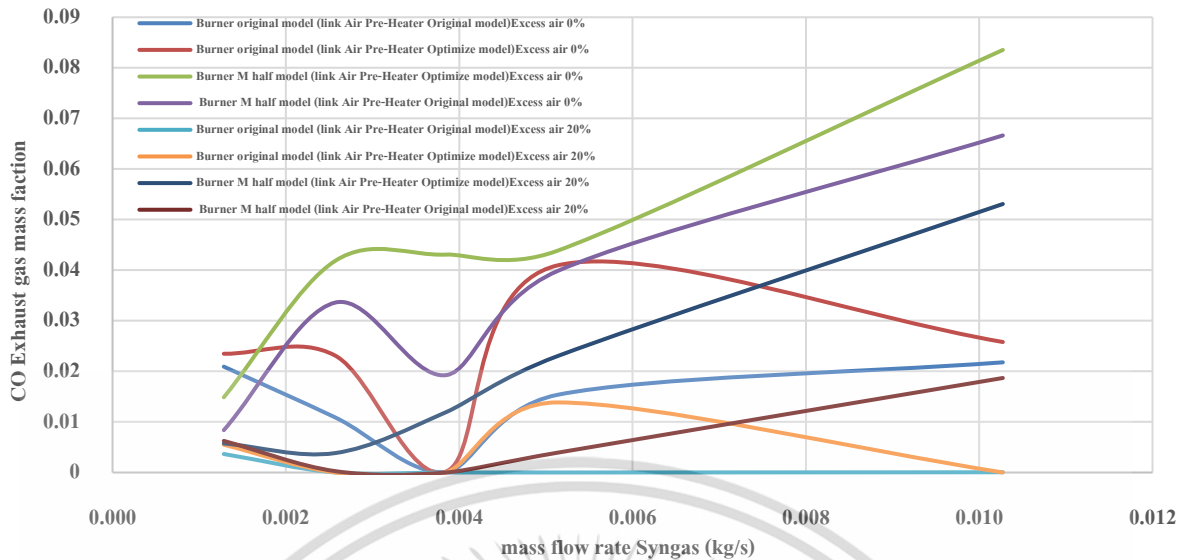
รูปแบบ



รูปที่ 4.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction CH_4 กับอัตราการใช้ซินแก๊ส

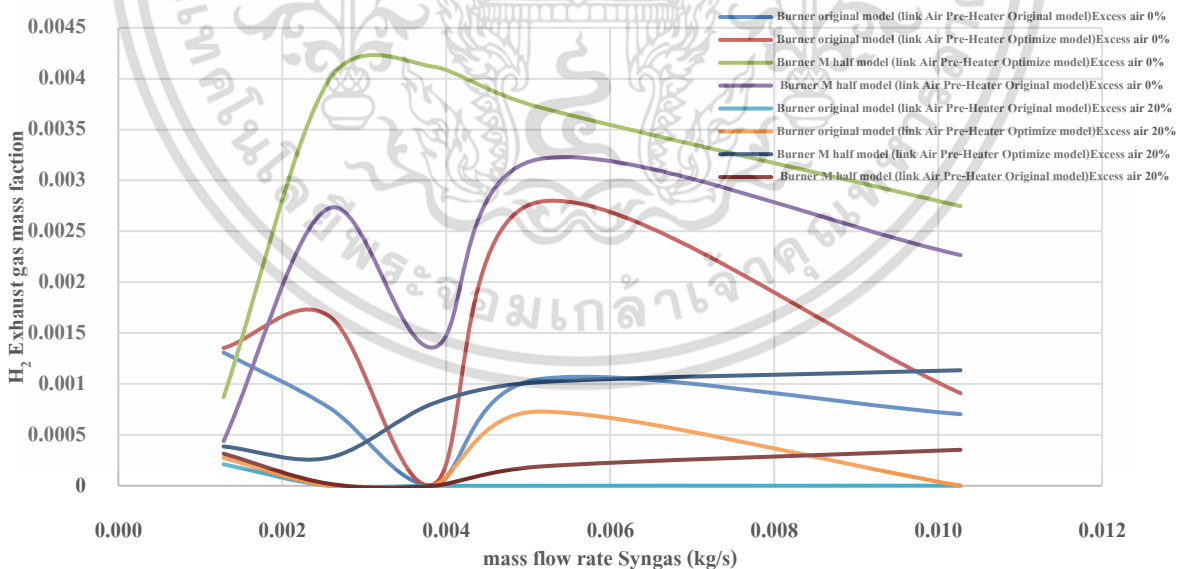
จากรูปที่ 4.63 แสดงปริมาณแก๊สมีเทนที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ไม่หมดของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สมีเทนในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบนั้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกันอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สมีเทนจะน้อยสุด มีปริมาณเหลือของแก๊สมีเทนจากการเผาไหม้ 9.09×10^5 ในสัดส่วน mass fraction ส่วนในกรณีอื่นมีอัตราการเผาของมีเทนใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction CO กับอัตราการใช้ซินแก๊ส

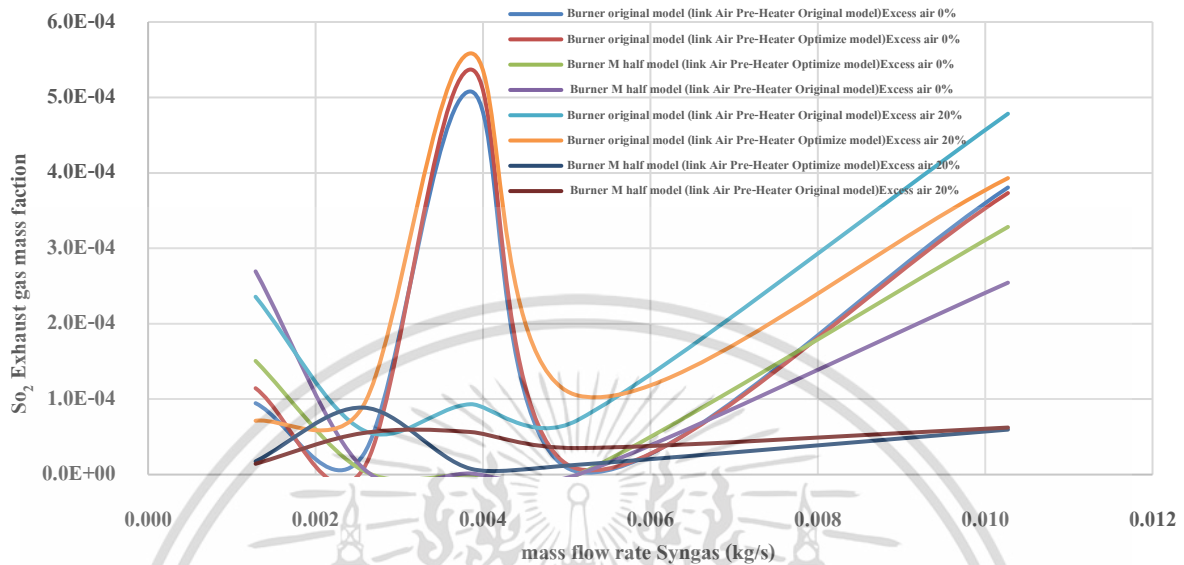
จากรูปที่ 4.64 แสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ไม่หมดของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบนั้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะน้อยสุด มีปริมาณเหลือของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ 0.0835 ในสัดส่วน mass fraction ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงซินแก๊ส 0.0102 kg/s ส่วนในกรณีอื่น เมื่อให้อากาศส่วนเกิน 20% จะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง



รูปที่ 4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction H₂ กับอัตราการใช้ซินแก๊ส

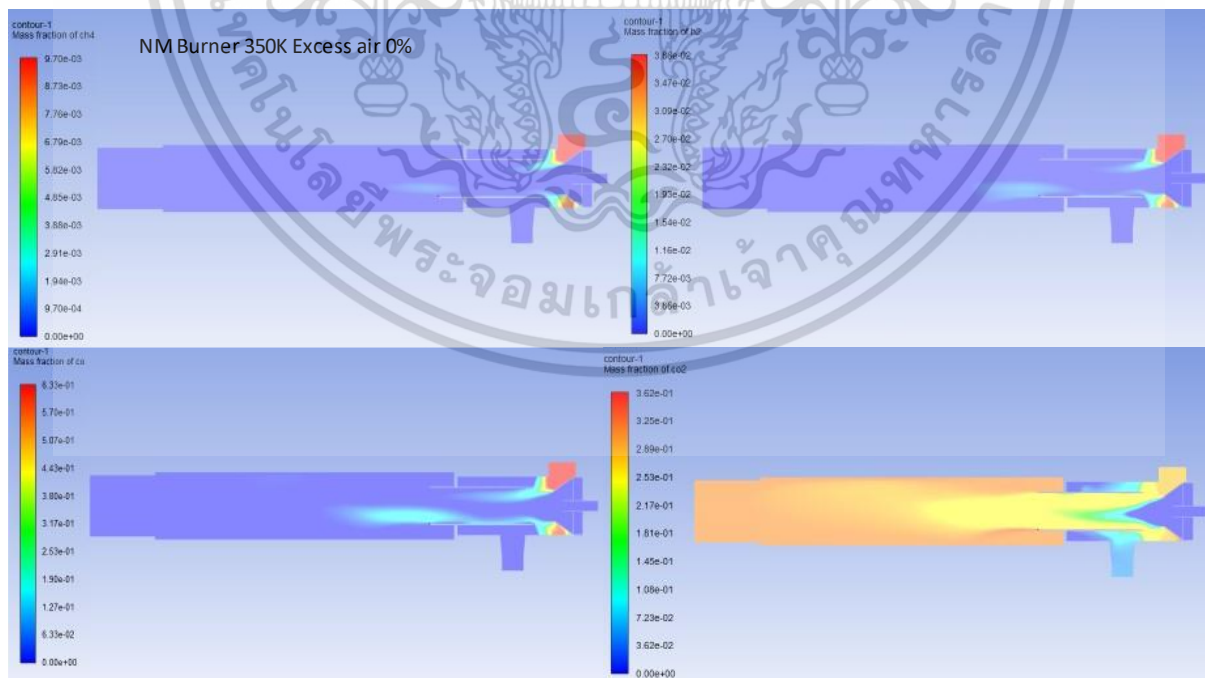
จากรูปที่ 4.65 แสดงปริมาณไฮโดรเจนที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ไม่หมดของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สไฮโดรเจนในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบนั้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สไฮโดรเจนจะน้อยที่สุด มีปริมาณเหลือของไฮโดรเจนจากการเผาไหม้ 0.002747 ในสัดส่วน mass fraction ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงซินแก๊ส 0.0102 kg/s ส่วนในกรณีอื่น เมื่อให้อากาศส่วนเกิน 20% จะมีปริมาณไฮโดรเจนลดลง



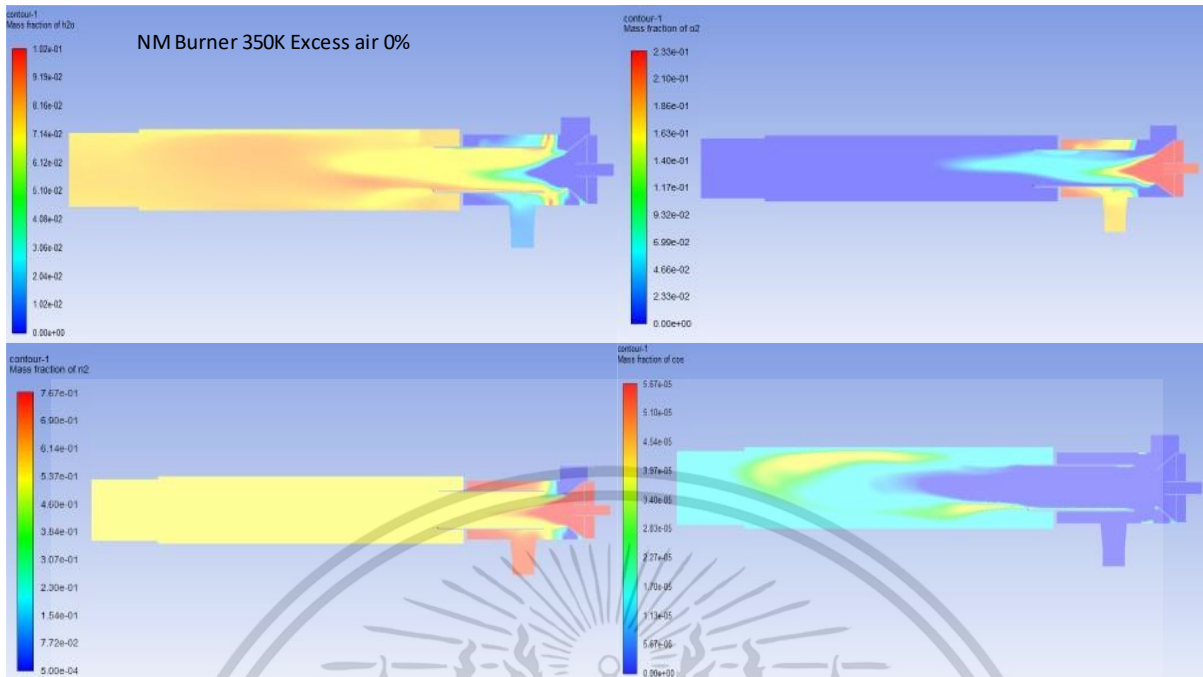
รูปที่ 4.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง mass fraction SO₂ กับอัตราการใช้ซินแก๊ส

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ ปริมาณการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ โดยมีอากาศส่วนเกิน 20% มีปริมาณปริมาณการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ 0.000478 ในสัดส่วน mass fraction

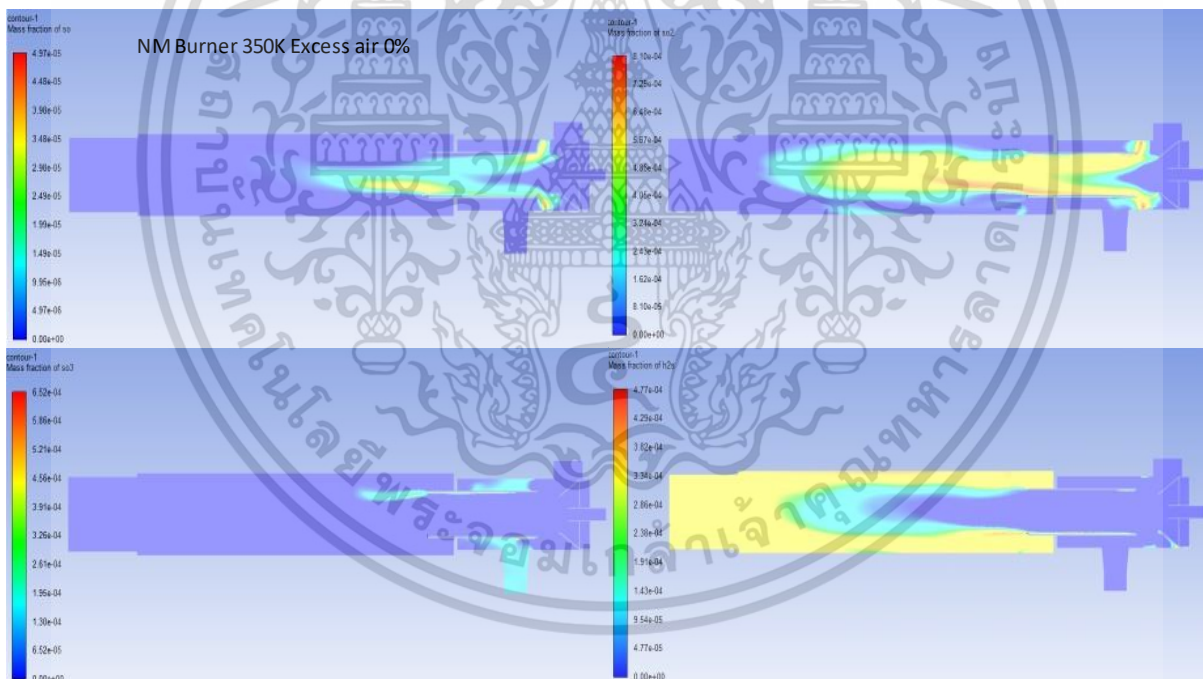


รูปที่ 4.67 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

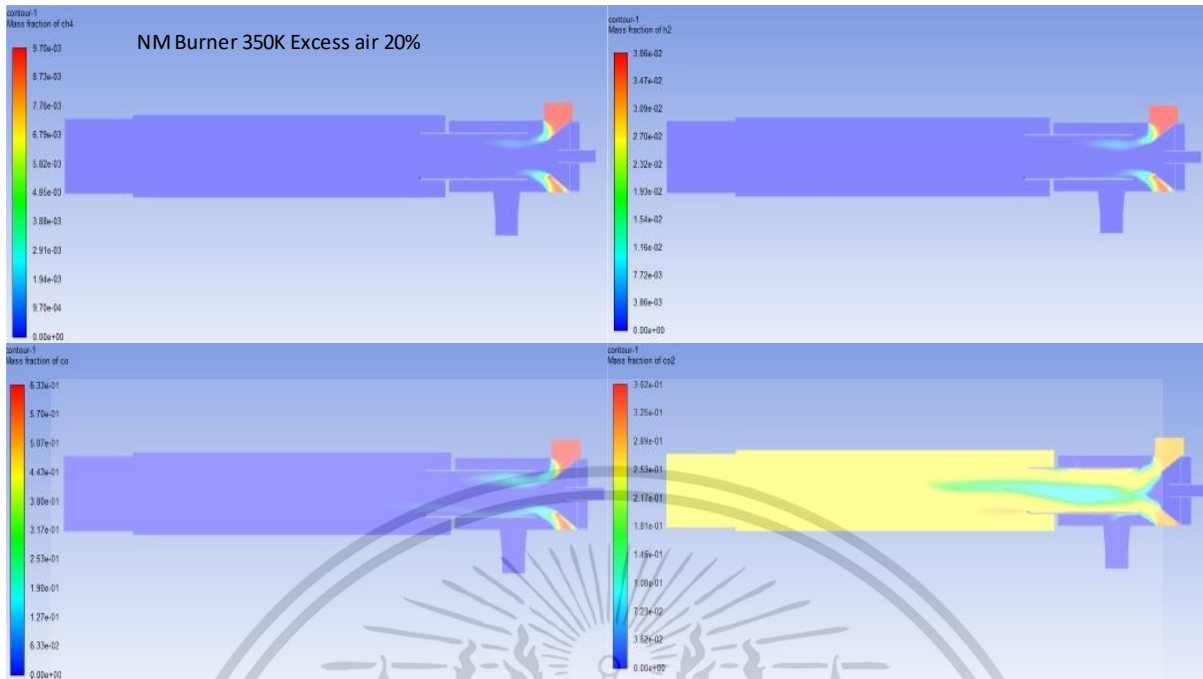


รูปที่ 4.68 แสดงปฏิกิริยา H_2O N_2 O_2 CO_2 เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปกติ

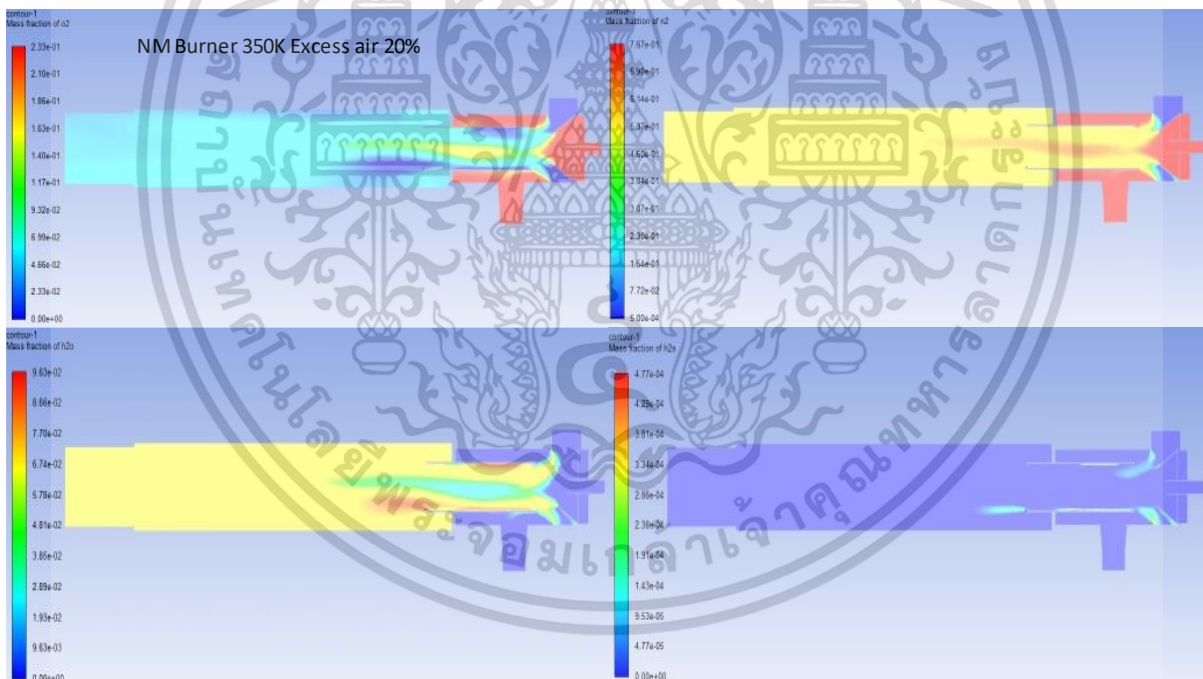


รูปที่ 4.69 แสดงปฏิกิริยา SO SO_3 SO_2 H_2S เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาไหม้ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

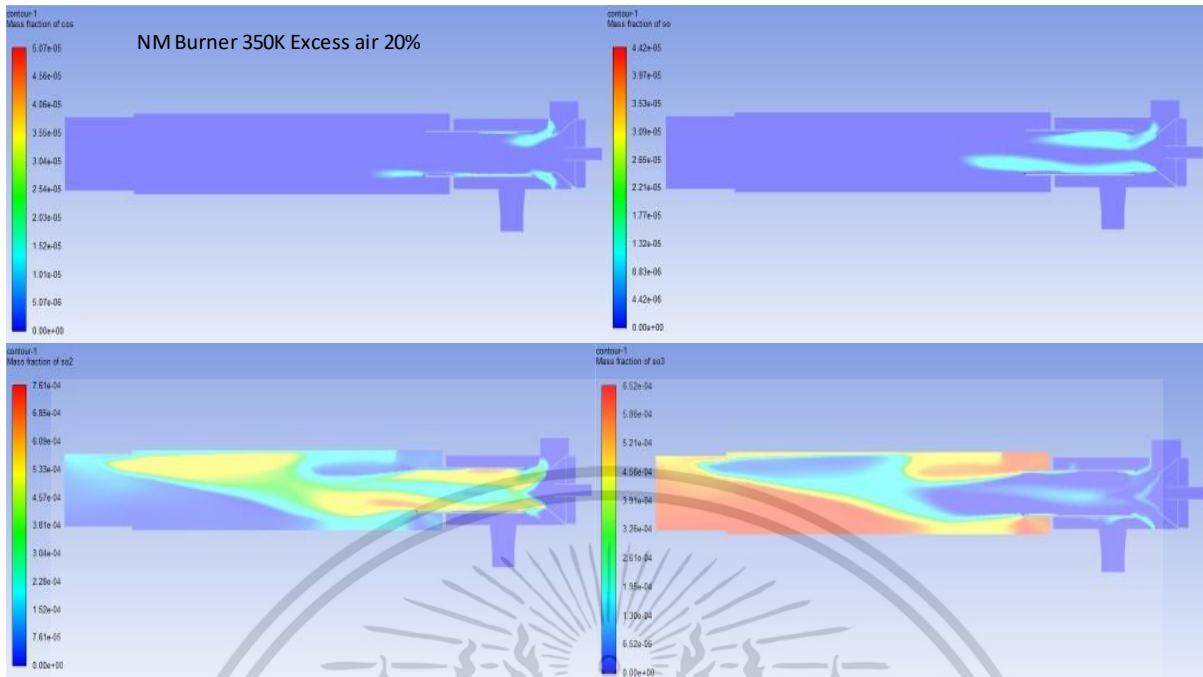


รูปที่ 4.70 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปกติ

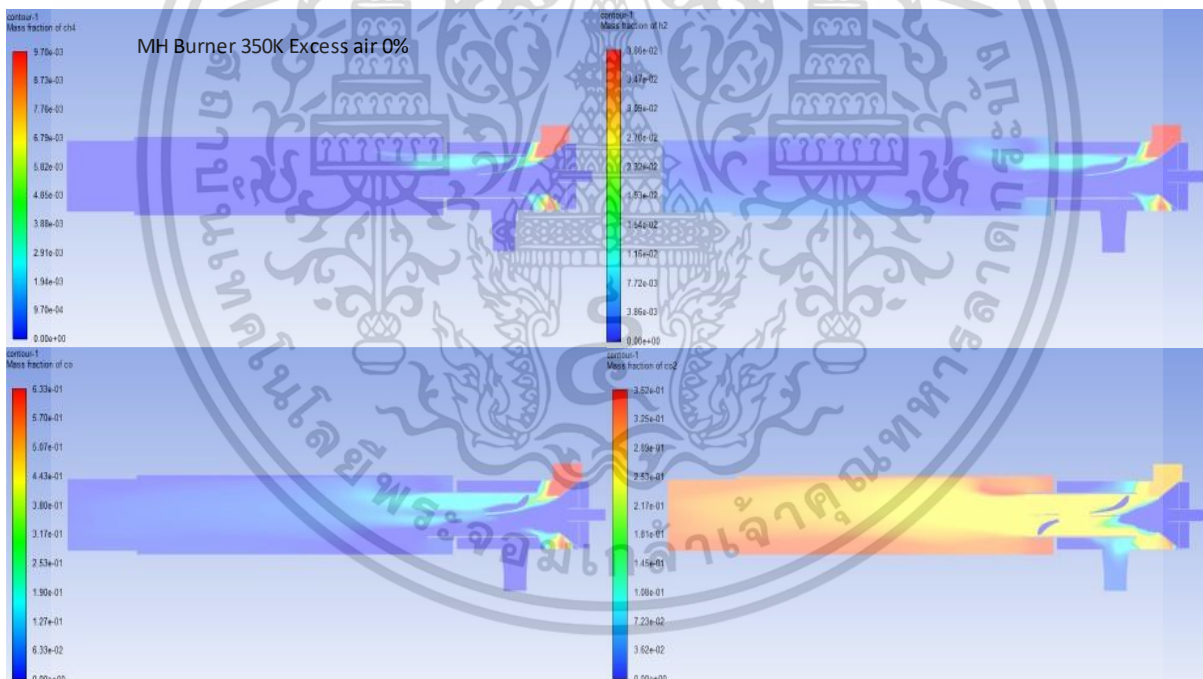


รูปที่ 4.71 แสดงปฏิกิริยา O_2 H_2O N_2 H_2S เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

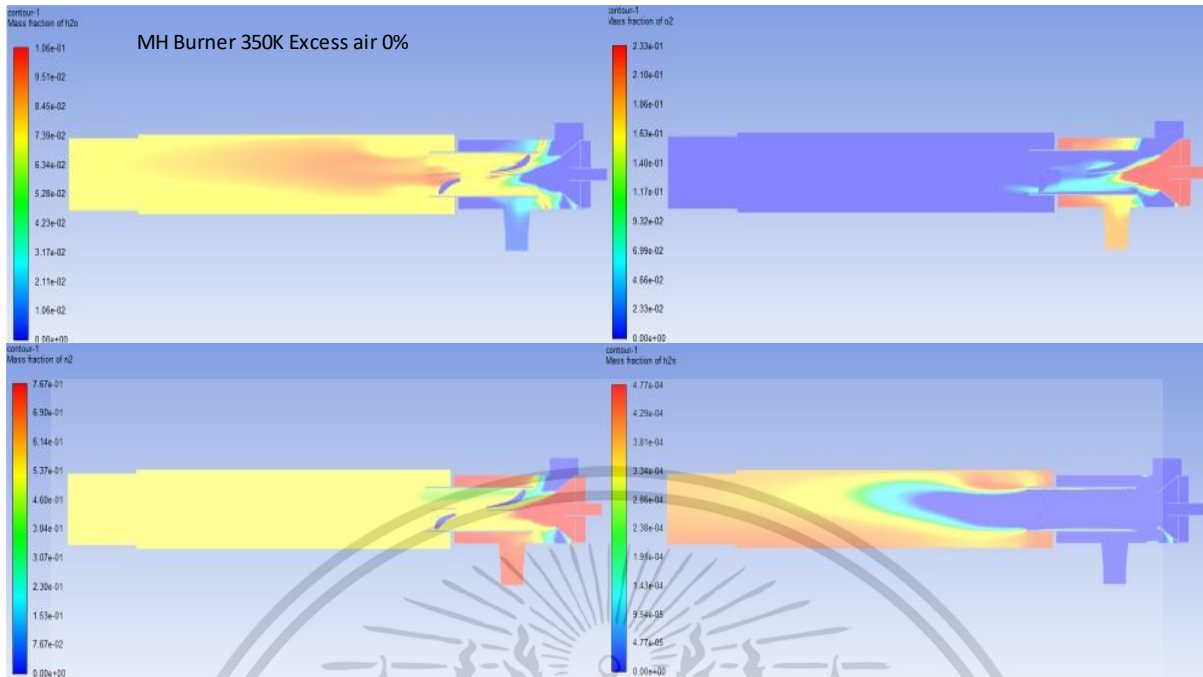


รูปที่ 4.72 แสดงปฏิกิริยา CO SO₂ SO SO₃ เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาใหม่ปกติ

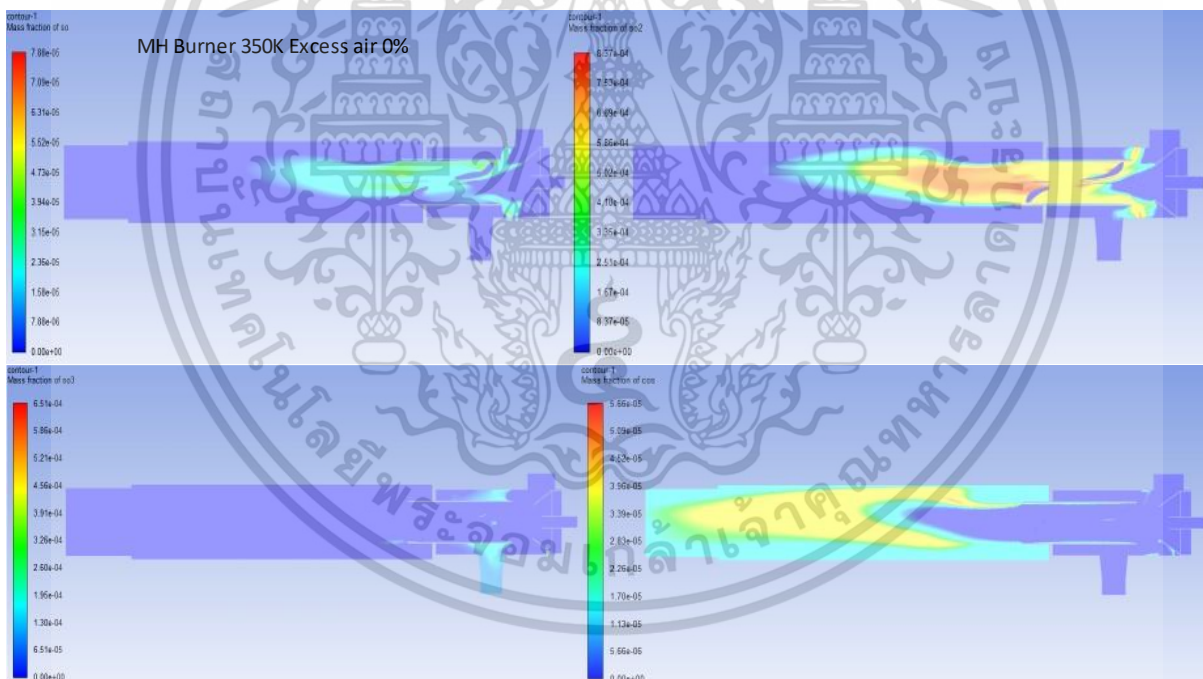


รูปที่ 4.73 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาใหม่ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

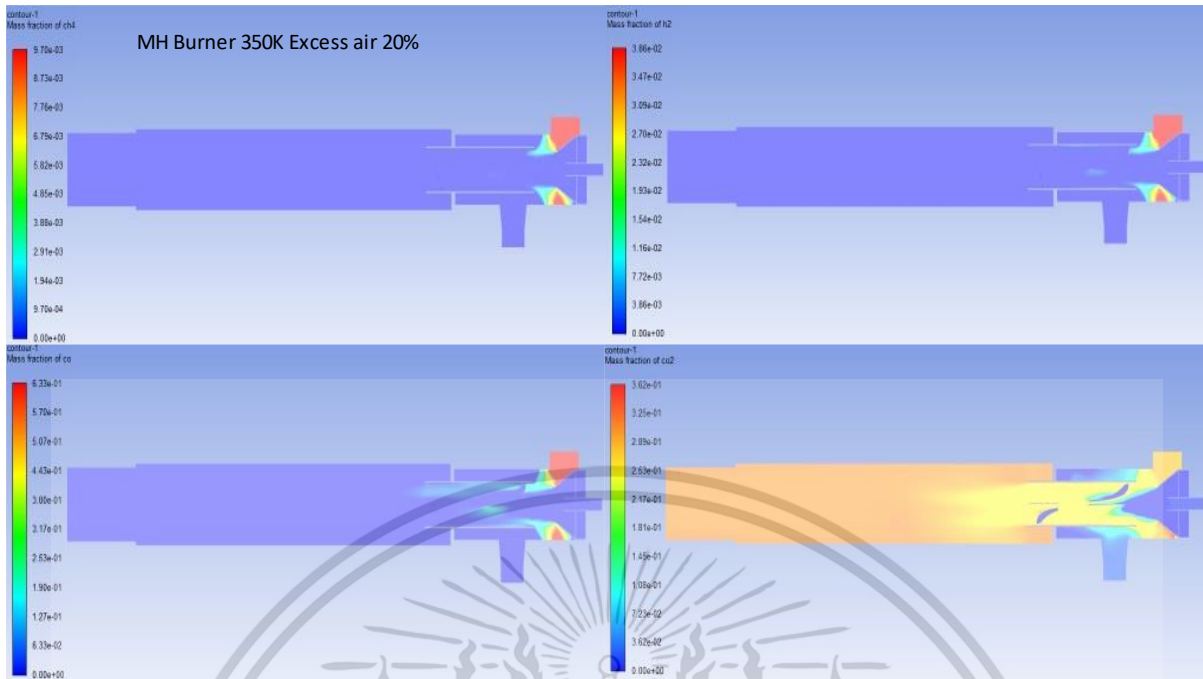


รูปที่ 4.74 แสดงปฏิกิริยา H_2O N_2 O_2 H_2S เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาใหม่ปรับปรุง

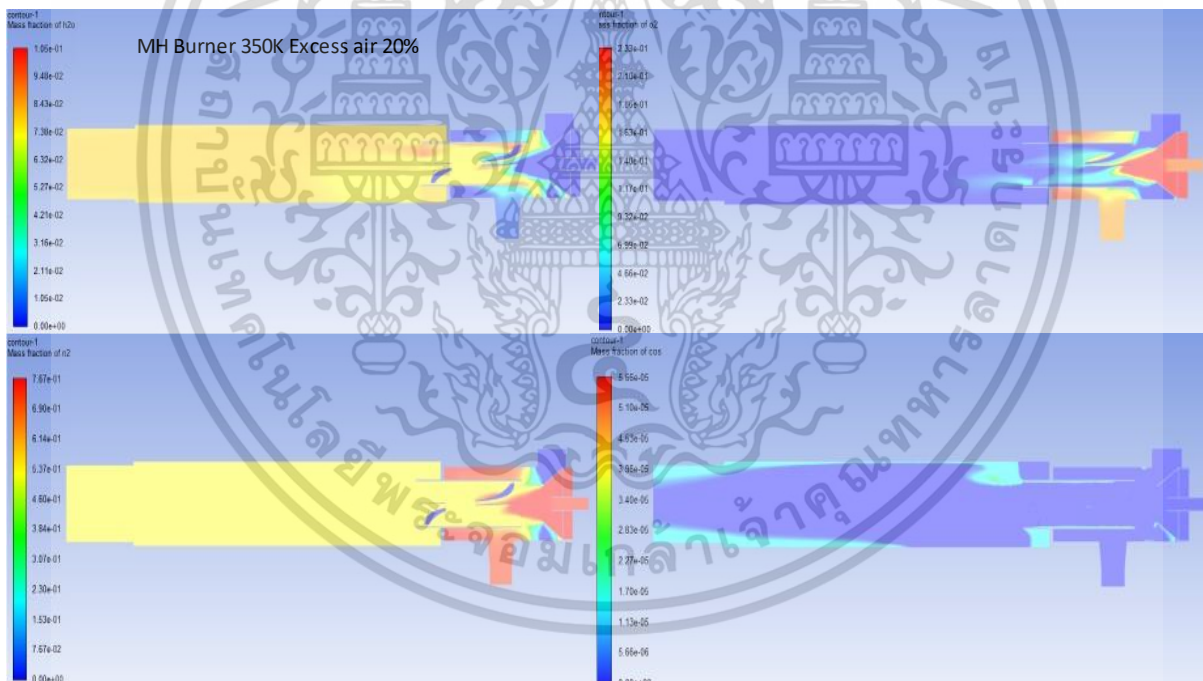


รูปที่ 4.75 แสดงปฏิกิริยา SO SO_3 SO_2 COS เมื่อไม่มีอากาศส่วนเกินหัวเผาใหม่ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

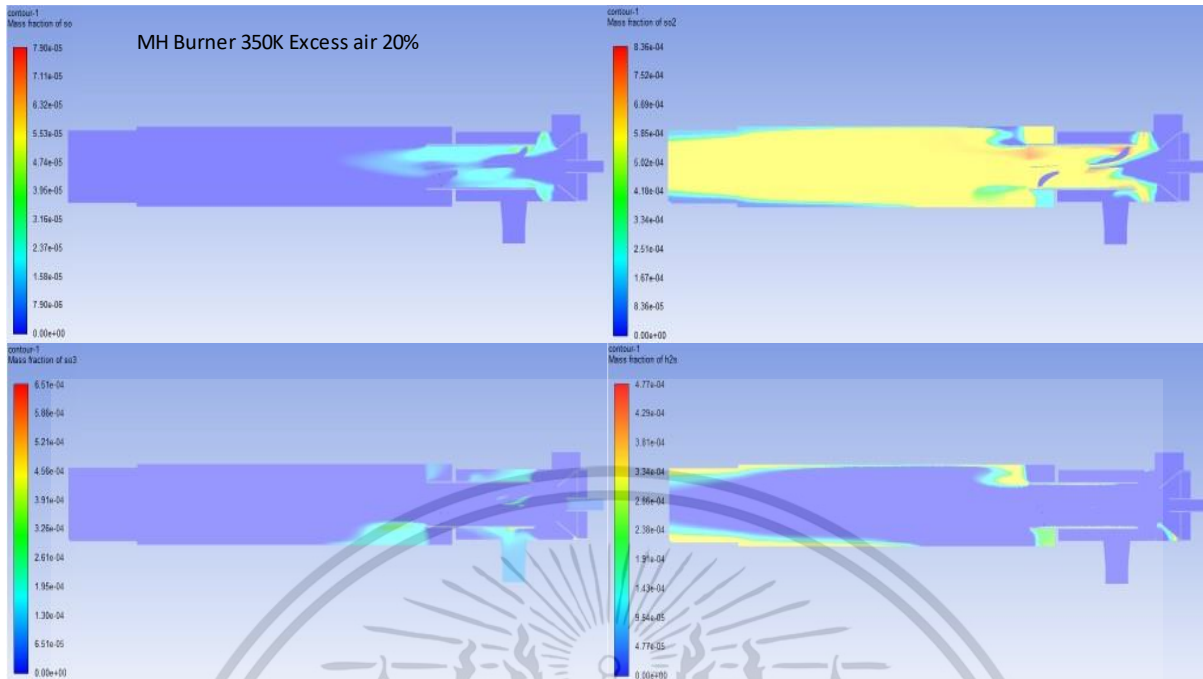


รูปที่ 4.76 แสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปรับปรุง

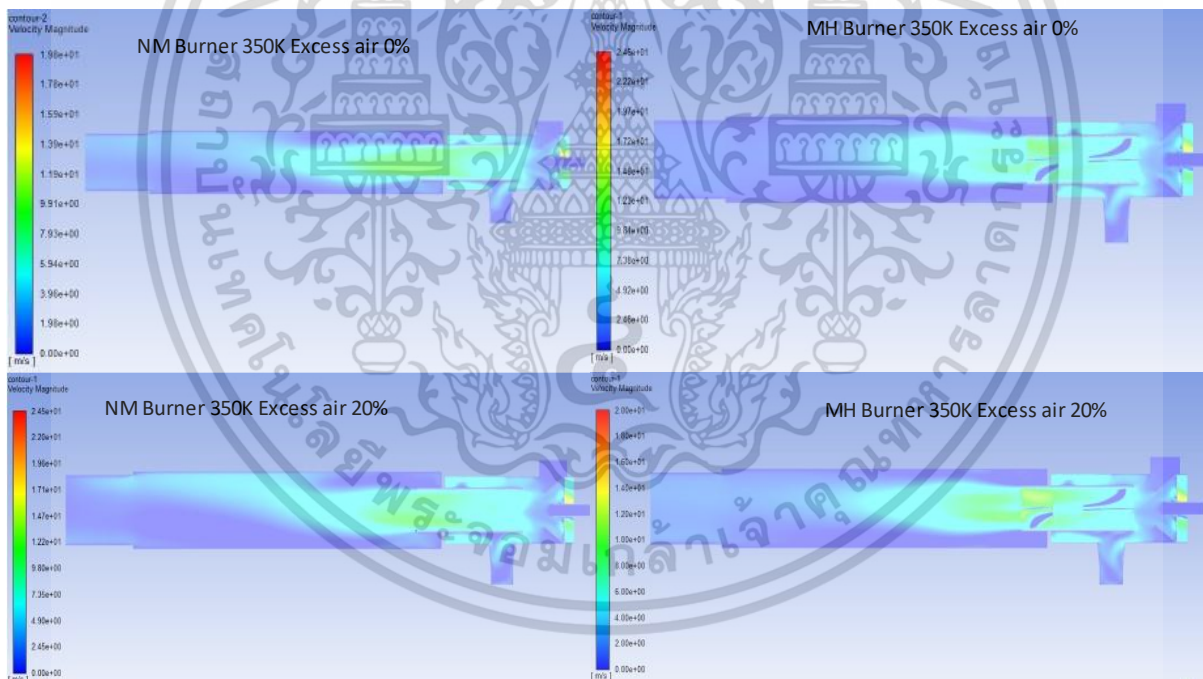


รูปที่ 4.77 แสดงปฏิกิริยา H_2O N_2 O_2 COS เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.78 แสดงปฏิกิริยา SO SO₃ SO₂ H₂S เมื่อมีอากาศส่วนเกิน 20% หัวเผาไหม้ปรับปรุง



รูปที่ 4.79 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วระหว่างเกิดการเผาไหม้ซินแก๊สเมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

แบบจำลองการพัฒนาเครื่องอุ่นอากาศและหัวเผาในห้องเผาไหม้ซินแก๊สจากเชื้อเพลิงชีวมวล

ในการจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องอุ่นอากาศลักษณะการไหลของแก๊สไอเสียกับอากาศ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนการไหลแบบสวนทางกันจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการไหลแบบขนานกัน ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศเพิ่มขึ้นตามพื้นที่หน้าตัดในการถ่ายเทความร้อน เช่น ความยาวท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกท่อ เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ในการจำลองเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศสูงสุดจำนวน 15 แผ่น มีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุดที่ 400 K เนื่องจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนความยาว 1 m เพราะความยาวของเครื่องอุ่นอากาศจะสัมพันธ์กับความยาวของห้องเผาไหม้ซินแก๊ส และมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนน้อยทำให้มีประสิทธิผลในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงที่อุณหภูมิต่ำ การเปรียบเทียบเครื่องอุ่นอากาศเมื่อใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 49.26% เป็น 71.35% อุณหภูมิที่ได้หลังอุ่นอากาศเพิ่มขึ้นจาก 350 K เป็น 372 K สามารถลดการสูญเสียความร้อนสู่ชั้นบรรยากาศได้ 0.67 kw และ ซินแก๊สเผาไหม้ได้ดีขึ้นเนื่องจากปริมาณ CH_4 , CO และ H_2 ในไอเสียลดลง ปริมาณความร้อนในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น 5.04% สำหรับหัวเผาปกติ และ 2.36% สำหรับหัวเผาปรับปรุง เมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศที่ใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น ในเงื่อนไขอัตราการไหลอากาศที่ $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ ไม่มีอากาศส่วนเกิน สัดส่วนการเผาไหม้อากาศต่อเชื้อเพลิงซินแก๊ส 3.05

จากการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สในเงื่อนไขทั้งหมด 8 รูปแบบ คือ 1. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ และไม่มีอากาศส่วนเกิน 2. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ และไม่มีอากาศส่วนเกิน 3. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น และไม่มีอากาศส่วนเกิน 4. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น และไม่มีอากาศส่วนเกิน 5. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ และมีอากาศส่วนเกิน 20% 6. ห้องเผาไหม้หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ และมีอากาศส่วนเกิน 20% 7. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น และมีอากาศส่วนเกิน 20% 8. ห้องเผาไหม้หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น และมีอากาศส่วนเกิน 20% ผลที่ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ซินแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้เชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.53 หัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศ และไมใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น มีอากาศส่วนเกิน 20% จะมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุด 77.5% และ 78.3% ตามลำดับ แต่เมื่อเผาไหม้ซินแก๊ส โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะลดลง ปริมาณความร้อนแก๊สไอเสียจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้เชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.53 หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อกับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น จะได้ความร้อนแก๊สไอเสียสูงสุด 131.758 kw

ผลการจำลองแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณแก๊สมีเทนที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ไม่หมดของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สมีเทนในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบนั้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สมีเทนจะน้อยสุด มีปริมาณเหลือของแก๊สมีเทนจากการเผาไหม้ 90 ppm ส่วนในกรณีอื่นมีอัตราการเผาของมีเทนใกล้เคียงกันที่ 23 ppb แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ไม่หมดของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะน้อยสุด มีปริมาณเหลือของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ 83,500 ppm ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงซินแก๊ส 0.0102 kg/s ส่วนในกรณีอื่น เมื่อให้อากาศส่วนเกิน 20% จะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเป็น 8.7 ppm ปริมาณไฮโดรเจนที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ไม่หมดของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ จะมีการเผาไหม้แก๊สไฮโดรเจนในซินแก๊สได้ดีขึ้น ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบนั้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาที่ปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบมีแผ่นกั้นอากาศ 15 แผ่น โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน ประสิทธิภาพการเผาไหม้แก๊สไฮโดรเจนจะน้อยที่สุด มีปริมาณเหลือของไฮโดรเจนจากการเผาไหม้ 2,747 ppm ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงซินแก๊ส 0.0102 kg/s ส่วนในกรณีอื่น เมื่อให้อากาศส่วนเกิน 20% จะมีปริมาณไฮโดรเจนลดลงเป็น 0.199 ppm ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปนในแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ของซินแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซินแก๊สในการเผาไหม้ ปริมาณการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ในการจำลองการเผาไหม้ซินแก๊สทั้ง 8 รูปแบบนั้น ผลที่ได้ในการเผาไหม้ซินแก๊สในกรณี หัวเผาปกติเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบไม่มีแผ่นกั้นอากาศ โดยมีอากาศส่วนเกิน 20% มีปริมาณปริมาณการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ 478 ppm ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงซินแก๊ส 0.0102 kg/s แต่ในกรณี หัวเผาปรับปรุงเมื่อต่อเข้ากับเครื่องอุ่นอากาศแบบใส่แผ่นกั้นอากาศและไมใส่แผ่นกั้นอากาศ ปริมาณการเกิดซัลเฟอร์ลดลงเป็น 62 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการไหล ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม เนื่องจากสามารถประหยัดเวลาที่ใช้ในการจำลองการไหล ปฏิบัติการในการเผาไหม้นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นเพียงการทำนายถึงผลการจำลองที่มีความเป็นไปได้ สำหรับการนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ศึกษาไปใช้งานจริงนั้นค่าประสิทธิผลทางความร้อน ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้ยังขึ้นอยู่กับความถูกต้องและแม่นยำของเครื่องมือวัดอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lu Ding, Mingming Yang Kai Dong, Dai Viet N. Vo Douglas (2022). **Mobile power generation system based on biomass gasification.**
- [2] Nantana Lamart Slatter, (2022). **Syngas Production for Fischer–Tropsch Synthesis from Rubber Wood Pellets and Eucalyptus Wood Chips in a Pilot Horizontal Gasifier with CaO as a Tar Removal Catalys, ACS Omega 7 (49), 44951-44961.**
- [3] Navid Kousheshi, Mortaza Yari, Amin Paykani, Ali Saberi Mehr, and German F. de la Fuente (2020). **Effect of Syngas Composition on the Combustion and Emissions Characteristics of a Syngas/Diesel RCCI Engine.**
- [4] Chojnacki J., Najser J., Rokosz, K., Peer V., Kielar, J.,and Berner B. (2020). **Syngas composition: gasification of wood pellet with water steam through a reactor with continuous biomass feed system, Energies, 13(17), 4376.**
- [5] U J Siregar A Lestari, L Rusniarsyah, and C A Siregar, (2020). **Fuel substitution by wood gasification for diesel electricity Generator, Materials Science and Engineering 935.**
- [6] Bunchan S., Poowadin T.,and Trairatanasirichai K. (2017). **A study of throat size effect on downdraft biomass gasifier efficiency, Energy Procedia, 138, 745-750.**
- [7] Brett Floyd, Corey Hall, (2016). **Experimental Analysis of a Wood Gasifier Based Engine, Proceedings of the ASEE North Central Section Conference.**
- [8] Magdalena Joka and Sławomir Poskrobko, (2016). **Methane rich gasification of wood pellets.**
- [9] N F Othman and M H Boosroh, (2016), **Effect of H₂ and CO contents in syngas during combustion using Micro Gas Turbine, International Conference on Advances in Renewable Energy and Technologies.**
- [10] Achawangkul Y., Maruyama N., Chaichana, C.,and Hirota, M. (2014). **Biomass gasification utilization for double-chambered crematory, Energy Procedia, 52, 308-315.**
- [11] Acda, M. N.,and Devera, E. E. (2014). **Physico-chemical properties of wood pellets from forest residues, Journal of Tropical Forest Science, 589-595.**
- [12] G. Teixeira, L. van de Steene, E. Martin, F. Gelix, Sylvain Salvador (2012). **Gasification of char from wood pellets and from wood chips: Textural properties and thermochemical conversion along a continuous fixed bed.**
- [13] Chaouki Ghenai (2010). **Combustion of Syngas Fuel in Gas Turbine Can Combustor,**
- [14] Ralph L. Webb, Nae-Hyun Kim. (2005). **Principles of Enhanced Heat Transfer, 2nd ED.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

London: CRC Press.

- [15] M. Kanzaka and M. Iwabuchi (1992). **Study on Heat Transfer of Heat Exchangers in the Stirling Exchangers in the Stirling Engine: Heat Transfer in a Heated Tube under the Periodically Reversing Flow Condition**, JSM International Journal. Ser. Fluid engineering, heat transfer, power, combustion, thermophysical properties, 35(4): pp. 641-646.
- [16] สมโภชน์ อิมเอิบ. 2556. **เทคโนโลยีความร้อน**. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- [17] พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2542. **การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] สิทธิพร ใหญ่ธนายศ. 2556. **การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [19] ฐานิตย์ เมธิยานนท์. 2550. **การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [20] จารุวัตร เจริญสุข. 2561. **Computational Fluid Dynamics and its Applications in Engineering Problems**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALL FOR PAPER

12th TSME-ICoME TSME-INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICAL ENGINEERING 13-16 December 2022 Phuket, Thailand



The 12th TSME-ICoME delivering a hybrid conference (in-person and virtual events) and oral presentations on different topics will be held on December 13-16, 2022 in Phuket, Thailand. This conference is a large forum to bring researchers, academics, and industry professionals to share knowledge and research contribution in various mechanical engineering related fields. Another goal of this conference is to serve as a collaboration platform for young students to present their qualify research. For further details in publication, please visit <http://www.icomeme.tsme.org/icomeme2022>.

ORGANIZING COMMITTEE

Honorary Chair

Prof. Dr. Kijachote Pianthong (President of TSME)

Conference Chair

Asst. Prof. Dr. Szathys Songsechon

Conference Advisors

Prof. Dr. Somchai Wongwiset and Prof. Dr. Sumreng Jugjai

Conference Secretary

Assoc. Prof. Dr. Amornrat Kaewitadap

Conference topics

Alternative Energy and Combustion (AEC)

Automotive, Aerospace and Marine Engineering (AME)

Applied Mechanics, Materials and Manufacturing (AMM)

Biomechanics and Bioengineering (BME)

Computation and Simulation Techniques (CST)

Dynamic Systems, Robotics and Controls (DRC)

Energy Technology and Management (ETM)

Thermal System and Fluid Mechanics (TSF)

Constructural Law: Theory and Applications (CLA)

IMPORTANT DATES

June 15, 2022 Abstract Submission Deadline

June 25, 2022 Abstract Acceptance Notification

August 31, 2022 Full Manuscript Submission Deadline

September 30, 2022 Full Manuscript Acceptance Notification

October 15, 2022 Camera-Ready Manuscript Submission Deadline

November 1 - 15, 2022
Early-bird Registration

December 13 - 16, 2022
Conference Date

www.icomeme.tsme.org/icomeme2022



Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi

TSME-ICoME2022

tsme-icomeme2022@kmutt.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Design of air preheater for syngas combustion

Ausadawut Bhurod¹, Panya Kansuwan¹ and Sutapat Kwankaomeng^{1,*}

Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

* Corresponding Author: 62601131@kmitl.ac.th

Abstract. This paper focuses on the design of an air preheater for syngas combustion in a Stirling engine, with a target heat output of 30 kW for optimal combustion in the combustion chamber. The maximum suitable heat output for a Stirling engine is determined using computational fluid dynamics (CFD) with ANSYS Fluent software. The heat exchange between the flue gas generated from the combustion of briquette biomass syngas in the combustion chamber and the air is analyzed through a comparison of counterflow models. The effectiveness of heat exchange increases with the number of air baffles, whether the air baffle is inserted or not. The simulation results indicate that up to 15 air baffles can be accommodated, resulting in a 20% increase in heat exchange effectiveness compared to no air baffles. Additionally, heating the air to 372 K leads to a 5.04% increase in the heat generated from the combustion of syngas in the combustion chamber in the normal burner model, and a 2.36% increase in the burner development model.

Keywords: air preheater, Computational Fluid Dynamics, Syngas.

1. Introduction

This study focuses on the thermal optimization of syngas and air combustion for heating Stirling engines. Computational fluid dynamics (CFD) techniques, specifically utilizing ANSYS FLUENT software, were employed to analyze fluid dynamics problems and simulate phenomena during combustion. Jerzy et al. [1] examined the impact of reactor temperature and steam flow rate on the composition of synthesis gas (H_2 , CH_4 , CO , CO_2) and its calorific value. T. Hussain et al. [2] investigated the efficiency of downdraft biomass gasification with variations in neck size, studying two types of biomass fuel. Y. Achawangkul et al. [3] researched the utilization of local biomass, such as macadamia husks and coffee bean pulp, for fixed in-ground gas generation systems. Acda M. N. and Devera E. E. [4] analyzed the combustion characteristics of pellets made from shavings and branch wood, noting low pollutant emissions and continuous burning with integrity preservation. Kanzaka et al. [5] studied the performance of heat exchangers in a Test Stirling engine generator. In line with these works, the present research utilizes the Ansys simulation program to create a syngas combustion model, aiming to analyze heat dissipation, flame temperature in the combustion chamber, optimum heat volume, exhaust gas flow in heat exchange with Stirling engine heat exchangers, and emission characteristics of syngas combustion. This approach helps reduce design time and cost.

2. Methodology

The simulation of the syngas combustion system, as depicted in Figure 1, comprises multiple components. However, this study specifically focuses on analyzing the air heater and combustion chamber. The analysis involves comparing the performance of an Air preheater with an air baffle model to that of an Air preheater without an air baffle model when connected to the combustion chamber model and a normal burner. The research also involves the development of the burner to evaluate the effectiveness of the air preheater, the heat utilization, and the efficiency of the combustion chamber.

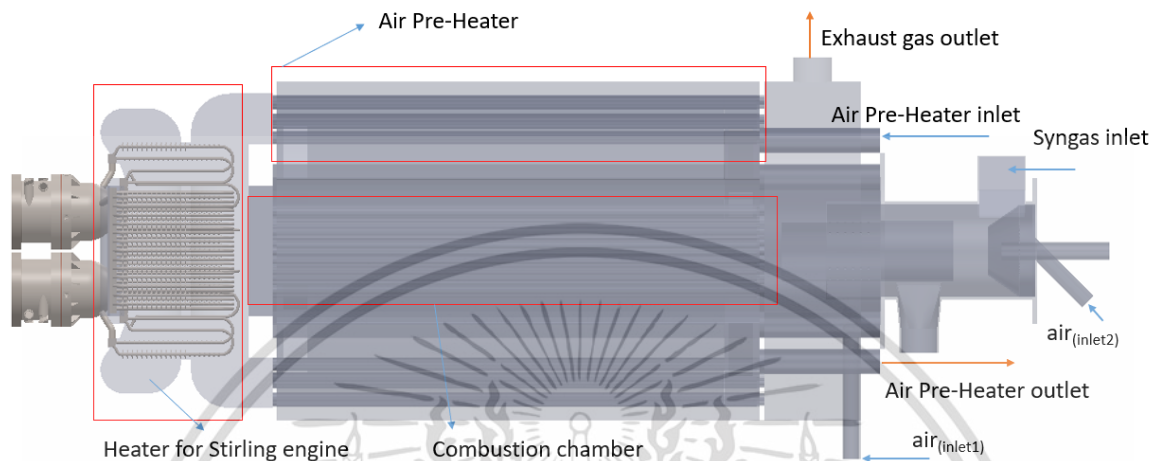


Figure 1. Model of the combustion system of the lateral syngas.

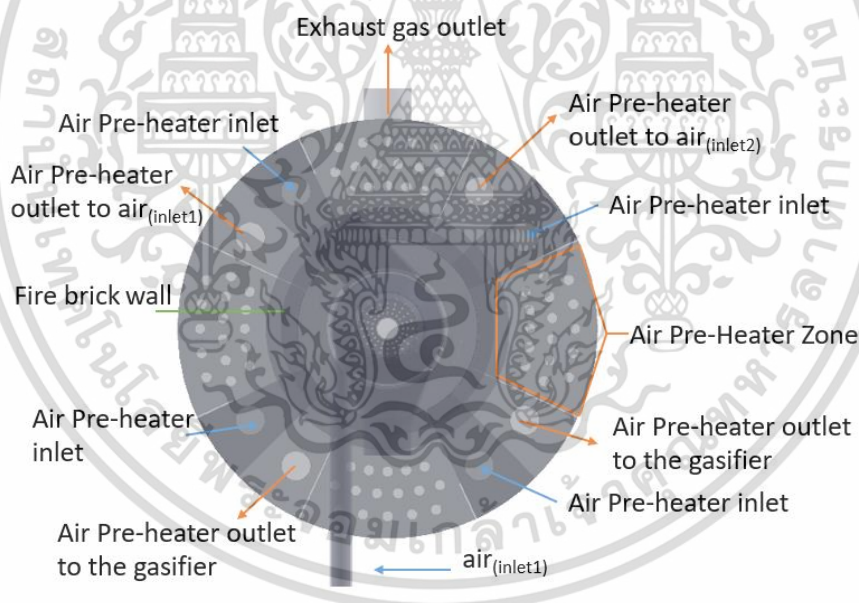


Figure 2. Model of the front syngas combustion system.

The syngas combustion system is composed of three primary components: 1. Air preheater, 2. Heat exchanger for an Alpha Stirling engine, and 3. Combustion Chamber. In the combustion chamber, syngas is blended with warm primary air, and secondary air is mixed with the remaining syngas in the middle of the burner to enhance combustion efficiency.

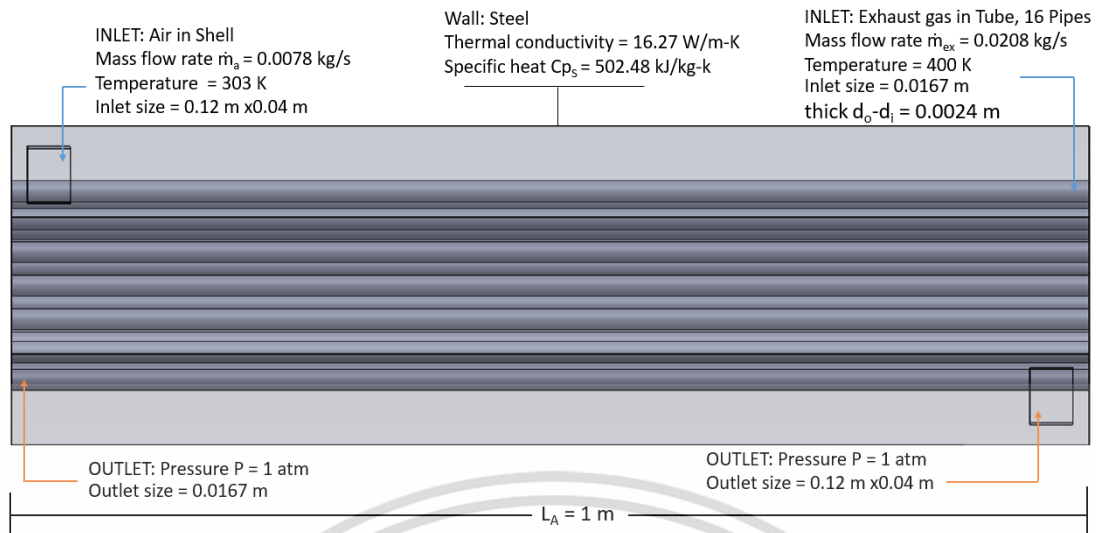


Figure 3. Air pre-heater model.

The exhaust gas heat exchanger for the Stirling engine flows through a tube in the preheater to exchange heat with the air before mixing with the syngas.

Heat exchange effectiveness is the ratio of heat gain per maximum heat that can be exchanged.

$$\varepsilon = \frac{q}{Q_{max}} \quad (1)$$

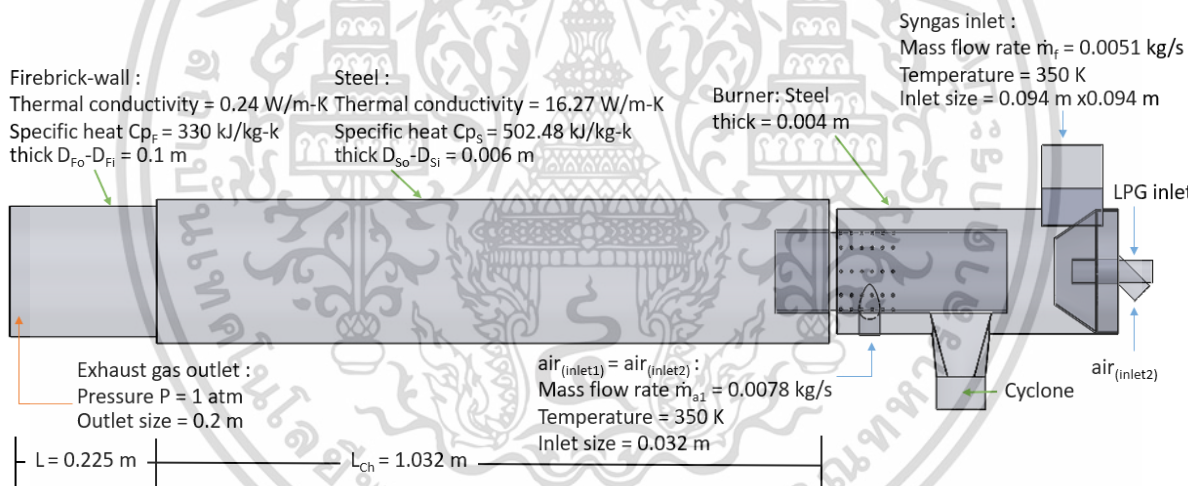
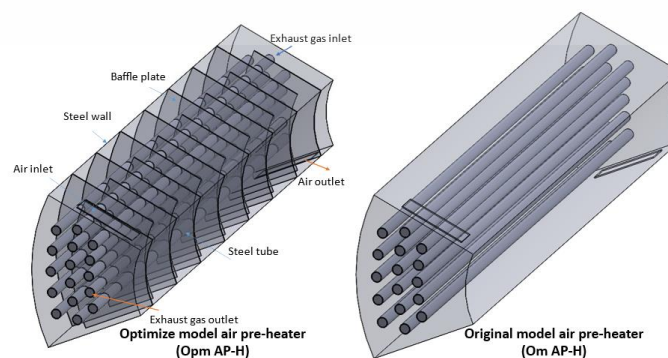


Figure 4. Syngas combustion model.

Air mixed with syngas is divided into two phases, primary air, and secondary air. The burner area connects to the cyclone and traps particles that come with syngas. The walls of the combustion chamber are refractory which bricks alternating with steel.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5. Air pre-heater with baffle plate (Om AP-H) and without baffle plate (Om AP-H).

The heat exchange in the air heater follows a counterflow pattern, where exhaust gases flow inside the pipe, transferring heat to the air from the outer surface of the pipe. The pipe used in this research has inner and outer diameters of 0.0167 and 0.0191 m, respectively. With 16 heat exchange sections, preliminary simulations of the air heater demonstrate that the effectiveness of heat exchange improves as the cross-sectional area increases. Increasing the length of the pipe accounts for the model considerations and enhances the heat exchange process.

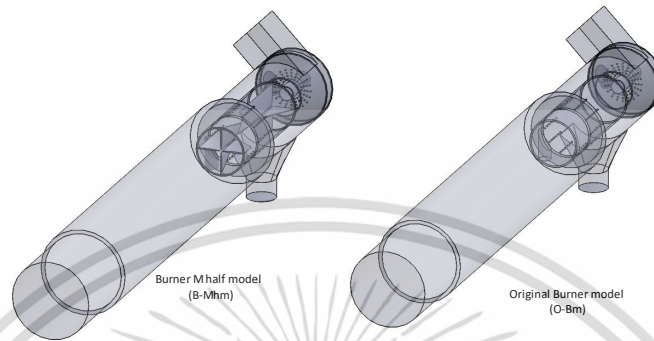


Figure 6. The combustion chamber burners develop (B-Mhm) vs. normal (O-Bm).

The composition of syngas fuel used for combustion consists of CH₄ 0.97 %, H₂ 3.86 %, CO 63.32 %, CO₂ 31.66 %, N₂ 0.05 % and other 0.14 % as a mass fraction proportion.

Table 1. Element and Nodes air preheater and combustion chamber.

Model	Types of mesh	Element	Nodes
Air Preheater (-)	Hexahedral	4548720	4929697
Air Preheater (2)	Tetrahedral	8459498	3281303
Air Preheater (4)	Polyhedral	4892753	12088133
Air Preheater (7)	Tetrahedral	8804847	2938497
Air Preheater (9)	Tetrahedral	8909603	2947135
Air Preheater (15)	Tetrahedral	8942652	3404951
B-Mhm	Polyhedral	1615047	8872977
O-Bm	Polyhedral	1600567	8872977

Simulating the exhaust air heat exchange in the air preheater, the results of the simulations were applied to the syngas combustion chamber model for analysis between the four models: 1. Air preheater without baffle (Om AP-H) to the normal burner (O-Bm) 2. Air preheater without baffle (Om AP-H) to development burner (B-Mhm) 3. Air preheater with up to 15 baffles (Opm AP-H) to normal burner (O-Bm) and 4. Air preheater to up to 15 baffle plates (Opm AP-H) to develop burner (B-Mhm).

3. Results and discussion

Design of air preheaters for the combustion of biomass syngas derived from wood pellets. Air preheater models provide better heat exchange with increased heat exchange cross-sectional area, e.g. length, and diameter. Tubes used in heat exchangers. The factor that increases the effectiveness of heat exchange also depends on the heat exchange flow. Therefore, placing the air baffle in the air preheater will increase the heat exchange efficiency with the number of air baffles resulting in more air flow contacting the heat exchange surface area.

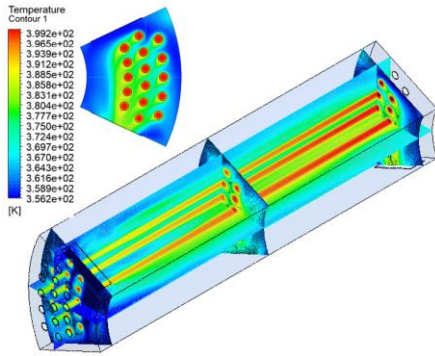


Figure 7. Air preheater (-).

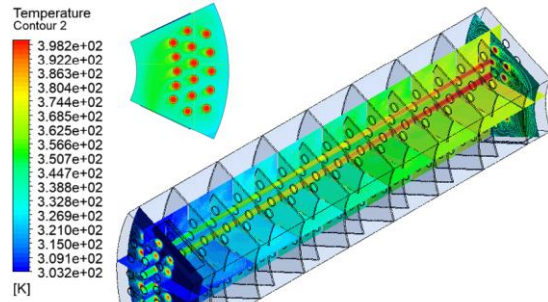


Figure 8. Air preheater (15).

Figure 8. Air preheater heat exchange with 15 baffle plates attached and no baffles attached.

Air pre-heater heat exchange model with the addition of up to 15 baffle plates. From Figure 8, the contour characteristics have greater temperature distribution and heat exchange across the cross-sectional area of the model than the plate-less model air barrier.

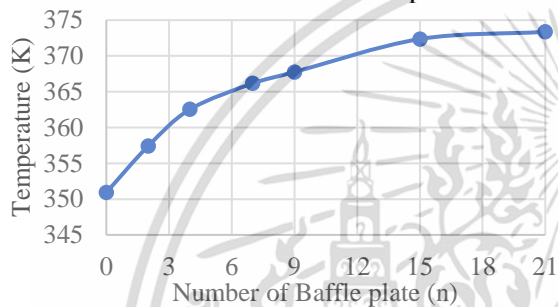


Figure 9. preheating air temperature and number of baffle plates.

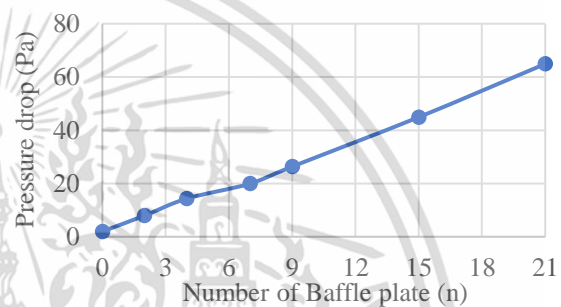


Figure 10. Pressure drops and number of baffle plates.

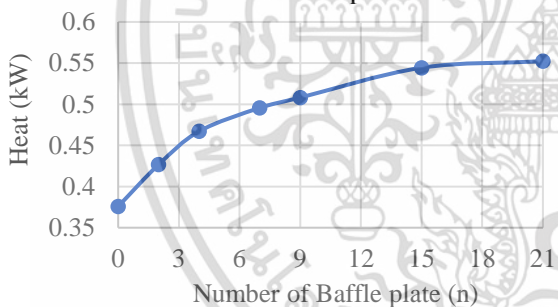


Figure 11. The amount of heat and the number of baffle plates.

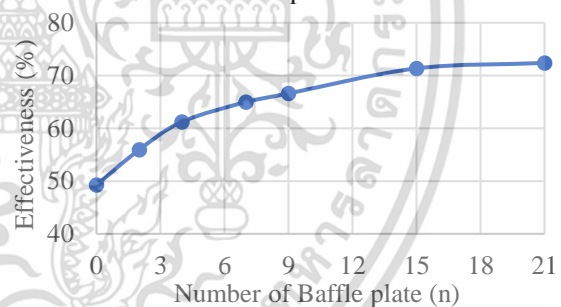


Figure 12. Air preheater effectiveness and the number of baffle plates.

Increasing the number of baffle plates leads to an increase in air temperature due to the extended heat exchange time and improved temperature distribution. The preheated air's heat content can be increased by a maximum of 0.544 kW. When up to 15 baffles are attached, the graph shows a maximum slope of 4. However, beyond 4 baffles, the slope of the graph decreases. This reduction in slope can effectively reduce the total heat loss from the exhaust gases to the atmosphere by 0.67 kW.

The effectiveness of air heating improves with the number of air baffles, resulting in an increase in the air preheater's effectiveness from 49.26% to 71.35%.

Through simulation results of the air heater's heat exchange, it was observed that the temperature of the air heater without baffles reached 350 K. However, when a maximum of 15 baffles were inserted, the temperature rose to 372 K. Consequently, the two models were compared when connected to the combustion chamber with two types of burners: one with an internal thread (B-Mhm) and the other without an internal thread (O-Bm). This comparison aimed to analyze the combustion effect of syngas as the combustion air temperature increases.

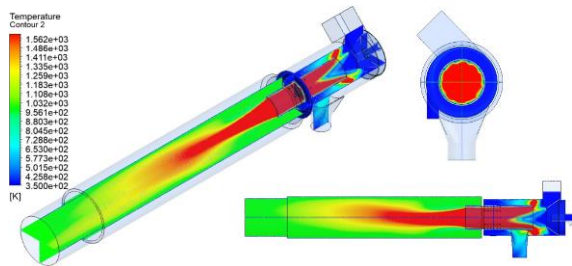


Figure 13. Normal burner connected to without baffle plates.

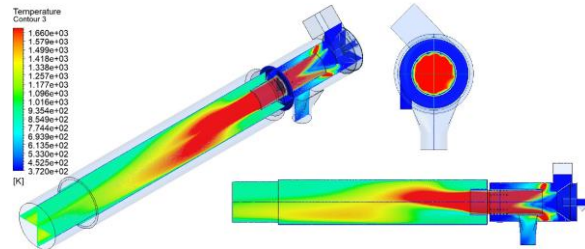


Figure 14. Normal burner connected to baffle plates.

Model of the precombustion air temperature with the biomass syngas of wood pellet in the combustion chamber. The temperature after combustion increases from 874 K to 936 K. The amount of heat generated for heating the 88.412 kW Stirling engine heat exchanger to 92.867 kW.

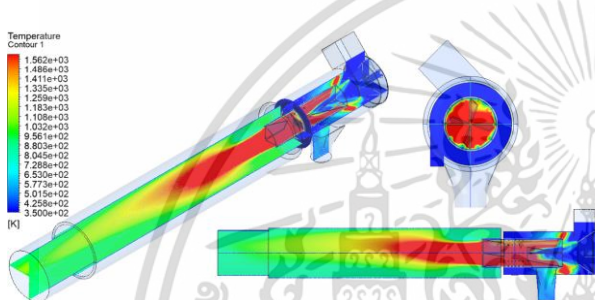


Figure 15. Burner developed connected to without baffle plates.

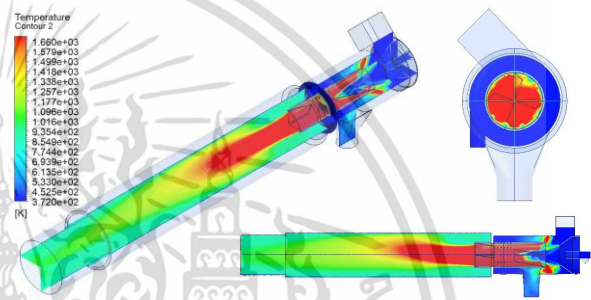


Figure 16. Burner developed with baffle plates.

The temperature after combustion of the baffle plates burner developed with the baffle plates air preheater was 942 K and 952 K. The amount of heat generated was 96.054 kW to 98.317 kW

Table 2. The amount of heat from the combustion of syngas.

Case	HEAT RATE (kW)		HEAT LOST (kW)		Combustion Efficiency (%)
	Heat generate	Exhaust gas	Steel-wall	Burner-wall	
	Q_G	$m_{EX}h_{EX}$	Q_S	Q_B	$m_{EX}h_{EX}/Q_G$
1. O-Bm(link Om AP-H)	145.636	88.412	39.042	10.181	60.70
2. O-Bm(link Opm AP-H)	147.861	92.867	37.502	9.899	62.80
3. B-Mhm(link Om AP-H)	152.015	96.054	37.770	10.525	63.18
4. B-Mhm(link Opm AP-H)	149.077	98.317	34.439	9.422	65.95

In the syngas combustion simulation, the highest amount of heat obtained from combustion for heating the sprocket heat exchanger is achieved when the burner is developed and connected to the air preheater, along with the insertion of baffle plates.

Table 3. Exhaust gas composition from syngas combustion.

Case	Exhaust gas Components (mass fraction)							
	CH ₄	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
1. O-Bm(link Om AP-H)	3.8E-05	4.3E-02	3.7E-03	5.3E-01	2.7E-07	3.4E-01	7.8E-02	3.74E-06
2. O-Bm(link Opm AP-H)	7.4E-06	4.1E-02	2.8E-03	5.4E-01	2.3E-06	3.3E-01	8.4E-02	7.52E-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. B-Mhm(link Om AP-H)	1.6E-05	3.9E-02	3.2E-03	5.3E-01	1.3E-06	3.4E-01	8.1E-02	2.32E-07
4. B-Mhm(link Opm AP-H)	2.6E-07	1.5E-02	1.0E-03	5.6E-01	5.3E-05	3.3E-01	8.8E-02	6.16E-08

The exhaust gas, intended for heat exchange with the Stirling engine heat exchanger, passes through the air preheater. By increasing the air temperature from 350 K to 372 K, the remaining levels of CH₄, CO, and H₂ in the exhaust gas decrease.

4. Conclusion

A study was conducted to analyze the development of air preheaters and burners in a biomass syngas combustion chamber (wood pellet). The effectiveness of air preheater heat exchange was found to increase with the heat exchange cross-sectional area, including factors such as pipe length and pipe outer diameter. In the simulation, an air heater model with a tube length of 1 m demonstrated effective high heat exchange at 400 K, despite having a relatively smaller heat exchange area. When comparing the air heater with 15 baffles to the standard model, the effectiveness increased from 49.26% to 71.35%. This improvement resulted in a rise in the warm air temperature from 350 K to 372 K. Consequently, it was possible to reduce heat loss to the atmosphere by 0.67 kW, and the combustion of syngas improved due to lower CH₄, CO, and H₂ content in the exhaust. The heating effect in the combustion chamber increased by 5.04% in the normal burner model and 2.36% in the burner development model.

References

- [1] Chojnacki, J., Najser, J., Rokosz, K., Peer, V., Kielar, J., and Berner, B. (2020). *Syngas composition: gasification of wood pellet with water steam through a reactor with continuous biomass feed system*. *Energies*, 13(17), 4376.
- [2] Bunchan, S., Poowadin, T., and Trairatanasirichai, K. (2017). *A study of throat size effect on downdraft biomass gasifier efficiency*. *Energy Procedia*, 138, 745-750.
- [3] Achawangkul, Y., Maruyama, N., Chaichana, C., and Hirota, M. (2014). *Biomass gasification utilization for double-chambered crematory*. *Energy Procedia*, 52, 308-315.
- [4] Acda, M. N., and Devera, E. E. (2014). *Physico-chemical properties of wood pellets from forest residues*. *Journal of Tropical Forest Science*, 589-595.
- [5] M. Kanzaka and M. Iwabuchi, *Study on Heat Transfer of Heat Exchangers in the Stirling Exchangers in the Stirling Engine: Heat Transfer in a Heated Tube under the Periodically Reversing Flow Condition*. *JSM International Journal*. Ser. Fluid engineering, heat transfer, power, combustion, thermophysical properties, 1992. 35(4): pp. 641-646.



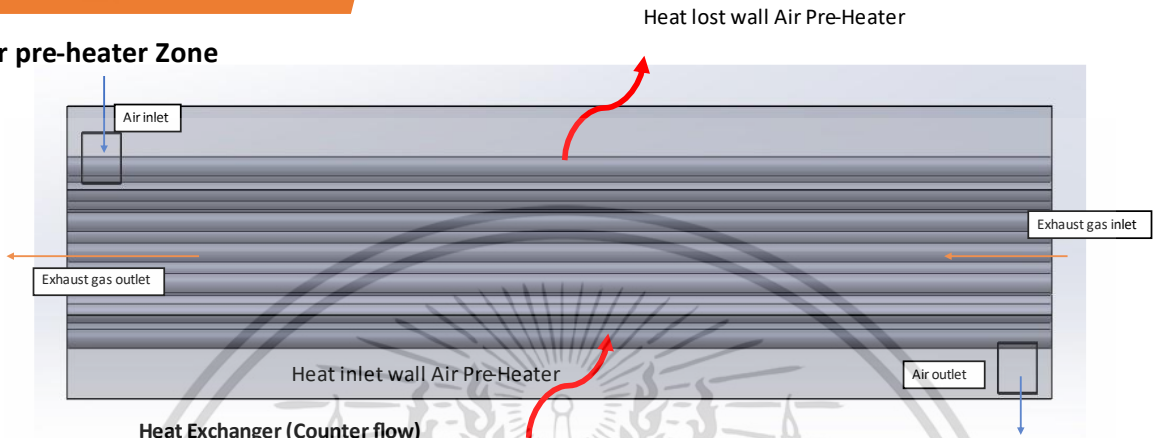
ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Theory

Air pre-heater Zone



Heat Exchanger (Counter flow)

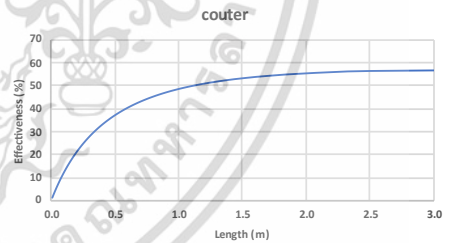
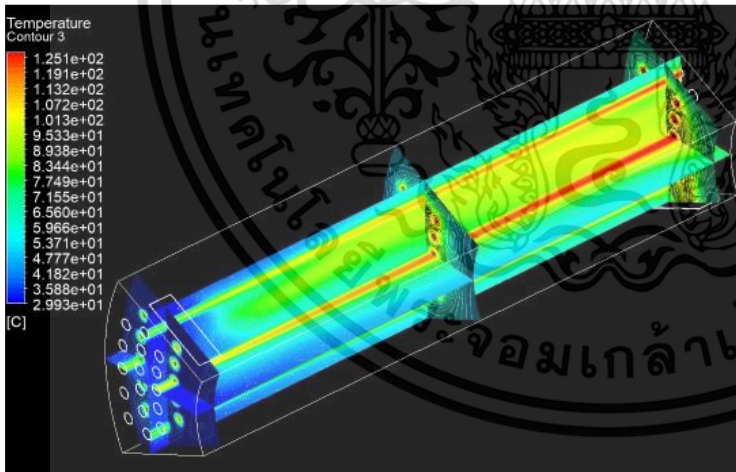
$$\frac{T(LMTD)}{Q} = \frac{1}{h_{ex}(\pi DL)} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{k(\pi DL)} + \frac{1}{h_{air}(\pi DL)}$$

$$h = N_u \frac{k}{D}$$

$$N_u = 0.332 \left(R_e^{\frac{1}{2}}\right) \left(P_r^{\frac{1}{3}}\right)$$

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$P_r = \mu \frac{C_p}{k}$$



Heat transfer

$$\frac{T(LMTD)}{Q} = \frac{1}{h_{ex}(\pi DL)} + \frac{x}{k(\pi DL)} + \frac{1}{h_{air}(\pi DL)}$$

$$h = N_u \frac{k}{D}$$

$$N_u = 0.332 \left(R_e^{\frac{1}{2}}\right) \left(P_r^{\frac{1}{3}}\right)$$

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$P_r = \mu \frac{C_p}{k}$$

simulation	mass flow rate (air) (kg/s)	mass flow rate (ex) (kg/s)	Cp (air) (kJ/kg-k)	Cp (ex) (kJ/kg-k)	Temp (air inlet) C	Temp (ex inlet) C	Temp (air outlet) C	Temp (ex outlet) C	Q (air) (kw)	Q (ex) (kw)	(kw)	Error (%)
	0.007824984	0.009711755	1.0051889	1.013021	29.999947	126.99999	77.709073	88.810899	0.37526	-0.37512	-0.0005	0.12032
exact										0.3697		-1.6263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Theory

Minimum Heating Consumption :

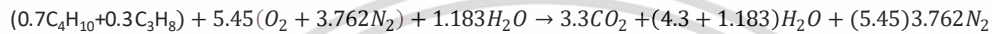
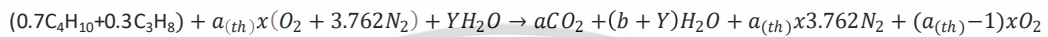
$$Q_{\text{(Heater)}} > 30 \text{ kw}$$

Energy Balance :

$$Q_{\text{(Heater)}} = Q_{\text{(Combustion)}} - Q_{\text{(Heat lost)}} - Q_{\text{(Exhaust gas)}}$$

$$Q_{\text{(Combustion)}} = H_R : (\text{propane } 70\% + \text{butane } 30\%)$$

Find to : Combustion Equation : $Q_{\text{(Combustion)}}$



$Q_{\text{(Combustion)}}$ = maximum Enthalpy (H_R) by Table

$$A/F = a_{(th)}x(O_2 + 3.762N_2) / (0.7C_4H_{10} + 0.3C_3H_8) = 15.6$$

Air	28.97	g/mol	LPG	
O	16	g/mol	a	3.30
C	12	g/mol	b	4.30
N	14	g/mol	x	5.45
H	1	g/mol	A/F	15.60
S	32	g/mol	d	1.183
				2.366
C ₃ H ₈	44	g/mol		
C ₄ H ₁₀	58	g/mol		

Theory

Find to : Heat lost of wall ($Q_{\text{(Heat lost)}}$, w)

$Q_{\text{lost, wall}}$

$$\frac{dT}{Q} = \frac{1}{h_{ex}(\pi DL)} + \frac{\ln(\frac{D_o}{D_i})}{k(\pi D_i L)}$$

$$h = N_u \frac{k}{D}$$

$$N_u = 0.332 \left(R_e \right)^{\frac{1}{2}} \left(P_r \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$P_r = \mu \frac{C_p}{k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Theory

Find to : Adiabatic temperature of Exhaust Gas (T_{\max} (K))

know : Mole of LPG (N_v),
Mole of Moisture Air (N_v) and
Mole of Product ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$),
vapor Pressure (P_v)
maximum Enthalpy (H_R)

$$Q - W = H_p - H_R$$
$$H_p - H_R = 0$$

Theory

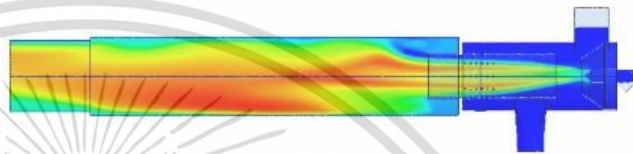
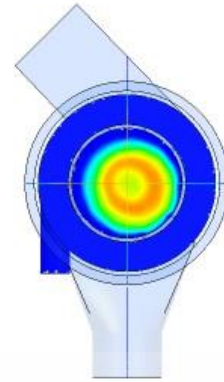
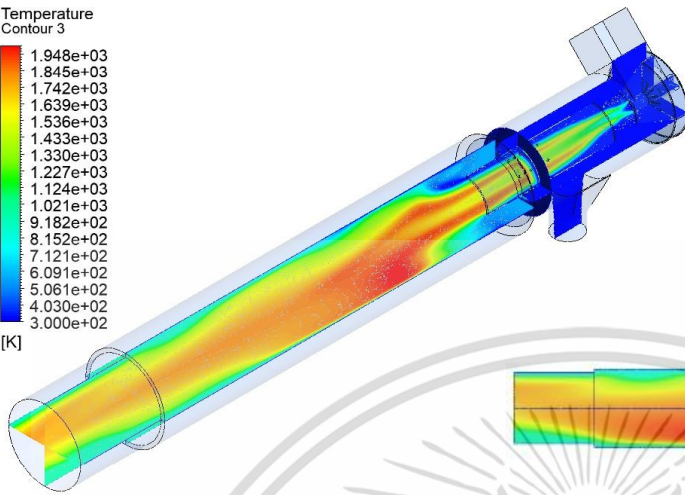
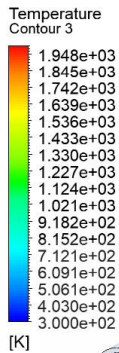
Find to : Dew point temp : Exhaust Gas Temperature (T_{Dp})

know : Mole of LPG (N_v),
Mole of Moisture Air (N_v) and
Mole of Product ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$),
vapor Pressure (P_v)

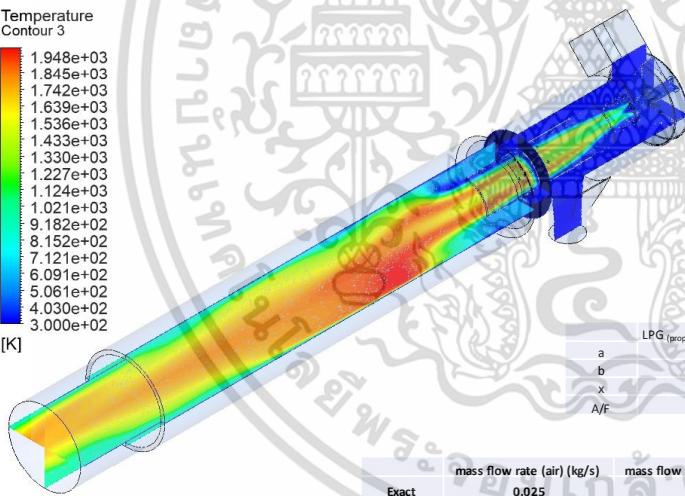
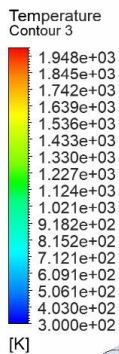
$$\text{Dew point temp} = \omega = \frac{0.622 \phi P_g}{P_t - P_g \phi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LPG Combustion



LPG Combustion



Mass Flow Rate	(kg/s)
air1-inlet	0.01253196
air2-inlet	0.01253196
hotgas-outlet	-0.026344536
lpg-inlet	0.0016069997
Net	0.00032885815
Total Heat Transfer Rate	(w)
firebrick-wall	-6330.4805
hotgas-outlet	48235.715
steel-wall	-19162.77
wall-fluid	-13829.987
Net	8912.4775

	48.2	52.91	44.83	42.72	40.55
	kg _{mol} /kmol				
	Q (T _{in} 127°C)	Q (T _{in} 227°C)	Q (T _{in} 327°C)	Q (T _{in} 427°C)	Q (T _{in} 527°C)
	54.91	52.91	44.83	42.72	40.55
	55.80	53.63	44.35	42.05	39.70
	56.70	54.35	43.86	41.39	38.84
	57.59	55.07	43.38	40.72	37.99
	58.48	55.78	42.89	40.05	37.14
	59.38	56.50	42.41	39.39	36.29
	60.27	57.22	41.93	38.72	35.43
	61.16	57.94	41.44	38.05	34.58
	62.05	58.66	40.96	37.39	33.73
	62.95	59.38	40.47	36.72	32.88
	63.84	60.09	39.99	36.06	32.03
	64.73	60.81	39.51	35.40	31.18
	65.62	61.53	39.02	34.73	30.33
	66.51	62.25	38.54	34.07	29.48
	67.40	62.97	38.05	33.40	28.63
	68.29	63.69	37.57	32.74	27.78
	69.18	64.41	37.08	32.07	26.93
	70.07	65.13	36.60	31.41	26.08
	70.96	65.85	36.11	30.74	25.23
	71.85	66.57	35.63	30.08	24.38
	72.74	67.29	35.14	29.41	23.53

	LPG (propane70%+butane30%)
a	3.30
b	4.30
x	5.45
A/F	15.60

	mass flow rate (air) (kg/s)	mass flow rate (fuel-LPG) (kg/s)	Combustion ratio (A/F)	Heat rate (kw)	Error (%)
Exact	0.025	0.0016	15.625	87.85	
Simulation	0.025066396	0.001607	15.598	87.55	0.3413%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Theory

	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
wood pellets	0.50399	0.060878	0.431136	0.000499	0.001497
0.0051	CH ₄		0.97%	0.009658	
0.0203	H ₂		3.86%	0.038632	
0.0000	O ₂		0.00%	0	
0.3326	CO		63.32%	0.633207	
0.1663	CO ₂		31.66%	0.316603	
0.0002	N ₂		0.05%	0.000475	
0.0007	S ₂		0.14%	0.001425	
0.5253			100.00%	1	

		Mass fraction	Mole fraction
CH ₄	16	0.1968	0.009778979
H ₂	2	0.774	0.03846001
O ₂	32	0	0
CO	28	12.74	0.633049769
CO ₂	44	6.38	0.317021784
N ₂	28	0.0084	0.000417395
S ₂	64	0.0256	0.001272062
	20.1248	1	1

C	0.6123	=	a
H	0.4116	=	b
O	0.4456	=	x
A/F	3.040871		

Syngas

Air

Exhaust gas



Specific Heat Capacity of Exhaust gas

$$C_{p_{\text{ex}}} = \frac{N_{\text{H}_2\text{O}}}{N_t} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} + \frac{N_{\text{CO}_2}}{N_t} C_{p_{\text{CO}_2}} + \frac{N_{\text{N}_2}}{N_t} C_{p_{\text{N}_2}} + \frac{N_{\text{O}_2}}{N_t} C_{p_{\text{O}_2}}$$

adiabatic flame temperature

$$Q - W = H_p - H_R$$

$$H_p - H_R = 0$$

Conservation of Mass

$$\dot{m}_t = \dot{m}_a + \dot{m}_p$$

$$(\rho_t Q_t) = (\rho_a Q_a) + (\rho_p Q_p)$$

wood pellet Excess air 0%

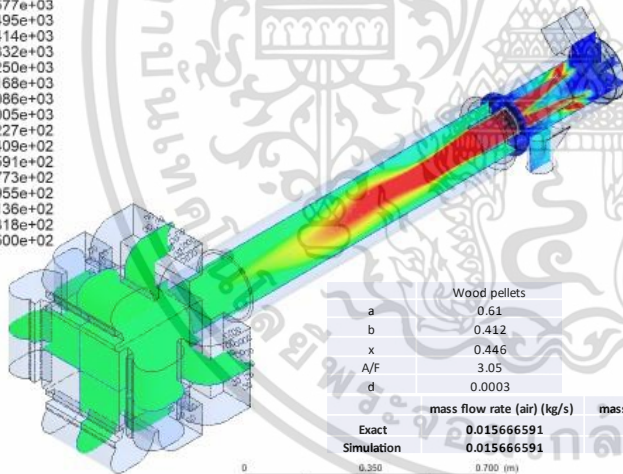
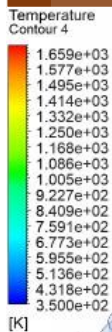
Case	m ³ /hr	Excess air 0% (Syngas wood pellet)	Error mass fraction (%)
1	25	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model) Excess air 0%	1.0000003857 -0.000003857%
2	50	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000003553 -0.000003553%
3	75	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	0.9999998226 0.00000174%
4	100	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.00000408817 -0.000408817%
5	200	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000002036 -0.00002036%
6	25	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model) Excess air 0%	1.0000003743 -0.000003743%
7	50	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	1.0000002676 -0.000002676%
8	75	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.9999997783 0.000002217%
9	100	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.9999995561 0.000004439%
10	200	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	1.0000001235 -0.000001235%
11	25	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model) Excess air 0%	1.0000001730 -0.000001730%
12	50	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	1.0000001833 -0.000001833%
13	75	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.999999913 0.000000087%
14	100	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	1.0000001909 -0.000001909%
15	200	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.999999953 0.000000047%
16	25	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model) Excess air 0%	0.9999999464 -0.0000000536%
17	50	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	0.9999992957 0.0000007043%
18	75	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000006271 -0.0000006271%
19	100	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	0.9999998560 0.0000001440%
20	200	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000002098 -0.0000002098%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wood pellet Excess air 20%

Case	m ³ /hr	Excess air 20%		Error mass fraction (%)
		(Syngas _{total pellet})	0.0000000000	100.00000000%
1	25	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)Excess air 20%	1.0000000258	-0.00000258%
2	50	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000000608	-0.00000608%
3	75	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.00000010457	-0.000010457%
4	100	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000001817	-0.00001817%
5	200	Burner original model (link Air Pre-Heater Original model)	1.0000003542	-0.00003542%
6	25	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)Excess air 20%	1.0000000990	-0.00000990%
7	50	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.9999998116	0.00001884%
8	75	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.9999999310	0.00000690%
9	100	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.99971783029	0.028216971%
10	200	Burner original model (link Air Pre-Heater Optimize model)	1.0000004504	-0.00004504%
11	25	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)Excess air 20%	0.99984207578	0.015792422%
12	50	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.99971830444	0.028169556%
13	75	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.99966587385	0.033412615%
14	100	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.99959960206	0.040039794%
15	200	Burner M half model (link Air Pre-Heater Optimize model)	0.99935464230	0.064535770%
16	25	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)Excess air 20%	0.99987105355	0.012894645%
17	50	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	0.99950476363	0.049523637%
18	75	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	0.99949207190	0.050792810%
19	100	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	0.99952632376	0.047367624%
20	200	Burner M half model (link Air Pre-Heater Original model)	0.99938400695	0.061599305%

Syngas Combustion



Wood pellets	
a	0.61
b	0.412
x	0.446
A/F	3.05
d	0.0003

	mass flow rate (air) (kg/s)	mass flow rate (fuel-LPG) (kg/s)	Combustion ratio (A/F)	Heat rate (kw)	Error (%)
Exact	0.015666591	0.00512	3.059881055	146.92	0.8747%
Simulation	0.015666591	0.00512	3.059881055	145.635	

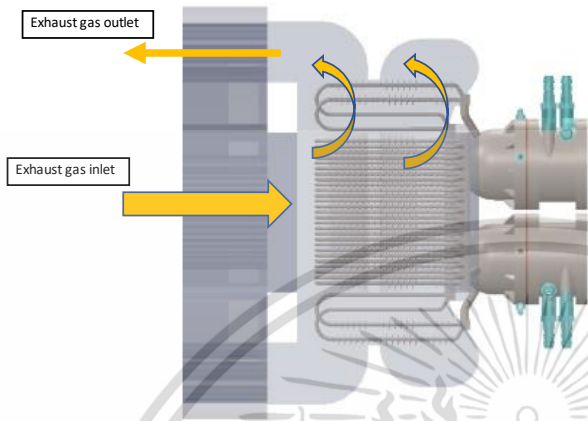
Mass Flow Rate	(kg/s)
air-inlet	0.0078332955
air2-inlet	0.0078332952
hotgas-outlet	-0.020862725
syngas-inlet	0.0051299855
Net	-6.6144392e-05
Total Heat Transfer Rate	(w)
firebrick-wall	-8000.79
hotgas-outlet	88412.273
steel-wall	-39042.07
wall-fluid	-10181.295
Net	31188.118

9.58	kgfuel/kmol	(Tex127 °C)	(Tex227 °C)	(Tex327 °C)	(Tex427 °C)	(Tex527 °C)	Hp (627 °C)
27.05	28.55	25.52	24.45	23.35	22.23		
27.90	26.89	25.73	24.58	23.41	22.20		
28.26	27.11	25.93	24.72	23.47	22.18		
28.61	27.40	26.14	24.85	23.53	22.16		
28.96	27.68	26.35	24.99	23.58	22.14		
29.32	27.96	26.56	25.12	23.64	22.12		
29.67	28.24	26.77	25.26	23.70	22.10		
30.03	28.52	26.98	25.39	23.76	22.08		
30.38	28.81	27.19	25.52	23.81	22.06		
30.73	29.09	27.40	25.66	23.87	22.04		
31.09	29.37	27.61	25.79	23.93	22.02		
34.63	32.19	29.70	27.14	24.51	21.81		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Theory

Heater for Stirling Engine Zone



Exhaust gas Heating (Q_{Heater})

$$Q_{\text{Heater Cross flow}} = \dot{m}(h_i - h_o)_{\text{exhaust}} = \dot{m}(h_i - h_o)_{\text{He}}$$

$$\frac{dT}{Q_{\text{Heater}}} = \frac{1}{h_{\text{ex}} A_{\text{Heater}}} + \frac{dx}{k A_{\text{Heater}}}$$

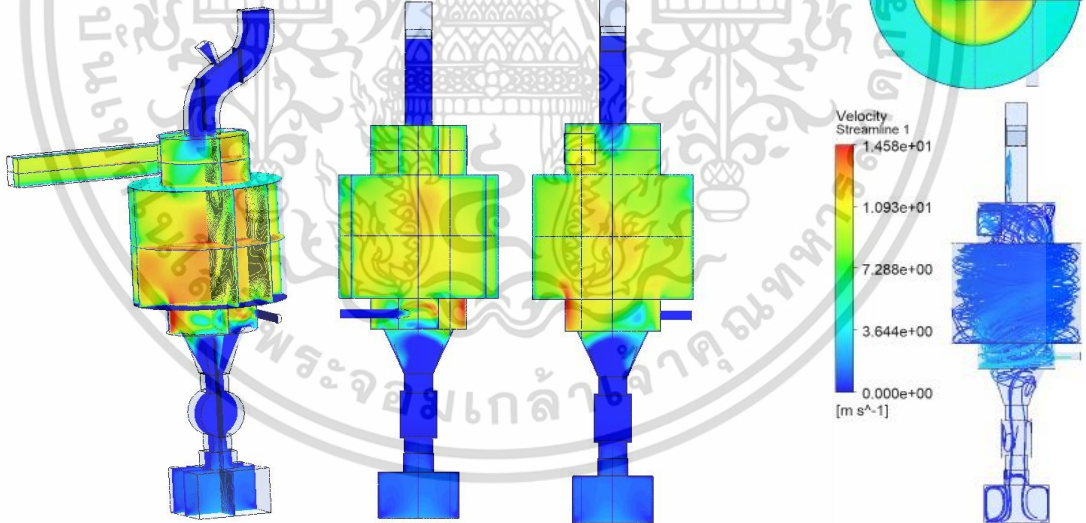
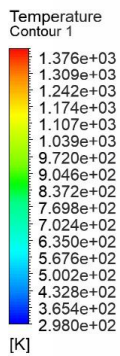
$$h_{\text{ex}} = Nu \frac{k}{D}$$

$$Nu = 0.332 \left(Re^{\frac{1}{2}} \right) \left(Pr^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Pr = \mu \frac{C_p}{k}$$

Gasifier



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้