

การศึกษาการกระจายความร้อนในห้องคั่วของเครื่องคั่วกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน
โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ปีการศึกษา 2565





การศึกษาการกระจายความร้อนในห้องคั่วของเครื่องคั่วกาแฟ ด้วยเทคนิค
ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

STUDY OF HEAT DISTRIBUTION IN THE ROASTING CHAMBER OF COFFEE
ROASTER USING FLUIDIZE BED TECHNIQUE COMBINED WITH HALOGEN
LAMP BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

จารุวัฒน์ วงศ์สุวรรณ

JARUWAT WONGSUWAT

ธีรยุทธ เชาวนา

TEERAYUT CHAOWANA

ปิ่นณรงค์ ช่วยอุดม

PANNARONG CHUAIUDOM

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการกระจายความร้อนในห้องคั่วของเครื่องคั่วกาแฟ ด้วยเทคนิค
ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

STUDY OF HEAT DISTRIBUTION IN THE ROASTING CHAMBER OF COFFEE
ROASTER USING FLUIDIZE BED TECHNIQUE COMBINED WITH HALOGEN
LAMP BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC



จารุวัฒน์ วงศ์สุวรรณ

JARUWAT WONGSUWAT

ธีรยุทธ เชาวนา

TEERAYUT CHAOWANA

ปັນณรงค์ ช่วยอุดม

PANNARONG CHUAIUDOM

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF HEAT DISTRIBUTION IN THE ROASTING CHAMBER OF COFFEE
ROASTER USING FLUIDIZE BED TECHNIQUE COMBINED WITH HALOGEN
LAMP BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC



JARUWAT WONGSUWAT
TEERAYUT CHAOWANA
PANNARONG CHUAIUDOM

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาการกระจายความร้อนในห้องคั่วของเครื่องคั่วกาแฟด้วยเทคนิค
ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

PROJECT TITLE Study of heat distribution in the roasting chamber of coffee
roaster using fluidize bed technique combined with halogen
lamp by computational fluid dynamic

ชื่อนักศึกษา นายจรรุวัฒน์ วงศ์สุวรรณ รหัสประจำตัว 63201221
นายธีรยุทธ เขาวนา รหัสประจำตัว 63201235
นายปณณรงค์ ช่วยอุดม รหัสประจำตัว 63201241

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช

ปริญญาานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ธัชพล จุ่งเจริญ

ปริญญาานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชัยวัฒน์	รัตนมีชัยสกุล	กรรมการสอบ	จ.จ.จ.
ผศ.ดร.วารุณี	ลิ้มมัน	กรรมการสอบ	ว.ว.ว.
ผศ.ดร.ศิริวรรณ	ศรีสังข์	กรรมการสอบ	ศิริวรรณ
รศ.ดร.นฤปดี	ศรีสังข์	กรรมการสอบ	นฤปดี
ผศ.ว่าที่ร้อยตรี ดร.กิตติศักดิ์	เพชรพันธ์	กรรมการสอบ	ก.ก.ก.
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์	รัตนเดช	อาจารย์ที่ปรึกษา	ณัฐพงศ์
รศ.ดร.ธัชพล	จุ่งเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ธัชพล

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 8 มิถุนายน 2566 เวลา 13:00 – 14:30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม A309

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการกระจายความร้อนในห้องคั่วของเครื่องคั่วกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ		
ชื่อนักศึกษา	นายจารุวัฒน์ วงศ์สุวรรณ	รหัสประจำตัว	63201221
	นายธีรยุทธ เซาวนา	รหัสประจำตัว	63201235
	นายปณณรงค์ ช่วยอุดม	รหัสประจำตัว	63201241
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช		
ปริญญานิพนธ์			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.รัชพล จุ่งเจริญ		
ปริญญานิพนธ์ร่วม			

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วกาแฟโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนเพื่อหาสภาวะที่มีการแพร่กระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วได้ดีและหารูปแบบของตำแหน่งการติดตั้งหลอดฮาโลเจน โดยออกแบบห้องคั่วเมล็ดกาแฟมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 mm ท่อทางเข้าขนาด 76.2 mm ใช้ความเร็วลมที่ 3 ระดับ คือ 4, 6 และ 8 m/s และให้อุณหภูมิที่ทางเข้าที่ 3 ระดับ คือ 180, 220 และ 270°C และต้องการอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องคั่วไม่ต่ำกว่า 150, 200 และ 220°C เรียงตามลำดับของอุณหภูมิที่ทางเข้า ตำแหน่งที่ติดตั้งสำหรับหลอดฮาโลเจน 1000 W เปรียบเทียบ 3 ตำแหน่ง คือ 1) ด้านบนของห้องคั่วกาแฟ 2) 4 มุมรอบห้องคั่วกาแฟ และ 3) ตรงแกนกลางของห้องคั่วกาแฟ และใช้ตะแกรงกระจายลม มีรูกระจายลมขนาด 5 mm มุม 90° ผลจากการจำลองพบว่า ห้องคั่วกาแฟที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจน ไว้ด้านบนของห้องคั่วและใช้ความเร็วลมที่ออกจากตะแกรงรูลม 6 m/s มีสภาวะการแพร่กระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วกาแฟมีประสิทธิภาพมากที่สุด

คำสำคัญ : ฟลูอิดไดซ์เบด, หลอดฮาโลเจน, การจำลอง

Project Title	Study of heat distribution in the roasting chamber of coffee roaster using fluidized bed technique combined with halogen lamp by computational fluid dynamic	
Student	Mr. JARUWAT WONGSUWAT	Student ID 63201221
	Mr. TEERAYUT CHAOWANA	Student ID 63201235
	Mr. PANNARONG CHUAIUDOM	Student ID 63201241
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Nuttapong Ruttanadech	
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr.Thatchapol Chungcharoen	

ABSTRACT

The objective of this research is to study the temperature distribution inside the roasting chamber by using hot air fluidized bed technique with halogen lamp to find a condition with good temperature diffusion in the roasting chamber. Find the position to install the halogen lamp. The diameter of coffee roasting chamber is 152.4 mm, diameter of inlet pipe is 76.2 mm using air velocity at 3 levels: 4, 6 and 8 m/s and providing temperature at the inlet at 3 levels: 180, 220 and 270°C and require an average temperature inside the roasting chamber of not less than 150, 200 and 220°C, respectively, positions for installing the 1000 W halogen lamp are compared: 1) the top of the coffee roasting chamber, 2) the four corners around the chamber, and 3) the center axis of the chamber. A grille with 5 mm air distribution holes and a 90° angle is used. The results from the simulation showed that coffee roasting room equipped with halogen bulbs placed on the top of the roasting chamber and using an air velocity exiting from the air perforated sieve of 6 m/s is the most efficient temperature diffusion condition in the roasting chamber.

Keywords: Fluidized bed, Halogen lamp, Simulation

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย บุคคลสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้คือ ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช และ รศ.ดร.ธัชพล จุ่งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้คำแนะนำและเอาใจใส่ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และขอขอบคุณ ผศ.ดร.รณชาติ มั่นศิลป์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนาเชียงใหม่ และ ดร.ศักรินทร์ ชินกุลพิทักษณ์ ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในทุกๆด้านที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่รักและเคารพ ซึ่งได้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ คณะผู้จัดทำขอระลึกในพระคุณสูงสุดและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายจรัสวัฒน์ วงศ์สุวรรณ

นายธีรยุทธ เขาวนา

นายปิ่นณรงค์ ช่วยอุดม

มิถุนายน 2566

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การจำลองแบบการไหล	4
2.2 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล	5
2.3 เครื่องคว่ำกาแฟ	6
2.4 ฟลูอิดไดเซชัน	8
2.5 ความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน	10
2.6 หลอดฮาโลเจน Tungsten Halogen	10
2.7 หลักการทำงานของหลอดฮาโลเจน	11
2.8 ข้อควรระวังในการใช้หลอดฮาโลเจน	11
2.9 รังสีอินฟราเรด	12
2.10 ฮีตเตอร์ (Heaters)	12
2.11 โบลเวอร์ (Blower)	14
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน	20
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนการออกแบบและจำลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	29
4.1 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ที่ความเร็วลม 4 m/s	30
4.2 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ที่ความเร็วลม 6 m/s	33
4.3 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ที่ความเร็วลม 8 m/s	37
4.4 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอด ฮาโลเจนที่ความเร็ว 4 m/s	40
4.5 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอด ฮาโลเจนที่ความเร็วลม 6 m/s	43
4.6 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอด ฮาโลเจนที่ความเร็วลม 8 m/s	47
4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิตัวลมร้อนเพียงอย่าง เดียวกับการกระจายอุณหภูมิตัวลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน	50
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก ตัวอย่างวิธีการคำนวณ	58
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง	61
ภาคผนวก ค ผลการจำลองในโปรแกรม CFD-VIEW	68
ภาคผนวก ง การเขียนแบบทางวิศวกรรม	78
ประวัติผู้เขียน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ข.1	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 180°C ที่ความเร็วลม 4 m/s	62
ข.2	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 220°C ที่ความเร็วลม 4 m/s	62
ข.3	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 270°C ที่ความเร็วลม 4 m/s	62
ข.4	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 180°C ที่ความเร็วลม 6 m/s	63
ข.5	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 220°C ที่ความเร็วลม 6 m/s	63
ข.6	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 270°C ที่ความเร็วลม 6 m/s	63
ข.7	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 180°C ที่ความเร็วลม 8 m/s	64
ข.8	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 220°C ที่ความเร็วลม 8 m/s	64
ข.9	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 270°C ที่ความเร็วลม 8 m/s	64
ข.10	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 180°C ที่ความเร็วลม 4 m/s	65
ข.11	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 220°C ที่ความเร็วลม 4 m/s	65
ข.12	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 270°C ที่ความเร็วลม 4 m/s	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.13	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 180°C ที่ความเร็วลม 6 m/s	66
ข.14	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 220°C ที่ความเร็วลม 6 m/s	66
ข.15	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 270°C ที่ความเร็วลม 6 m/s	66
ข.16	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 180°C ที่ความเร็วลม 8 m/s	67
ข.17	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 220°C ที่ความเร็วลม 8 m/s	67
ข.18	ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 270°C ที่ความเร็วลม 8 m/s	67

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องคั่วประเภท Fluid Bed Roasters	7
2.2	เครื่องคั่วประเภท Drum Roasters	7
2.3	เครื่องคั่วประเภท Tangential Roasters	8
2.4	แสดงถึงพฤติกรรมของการเกิดฟลูอิดไอเดเซนซ์ (ก) เบตนิ่ง (ข) เบตหนาแน่น และ (ค) เบตเจือจาง	9
3.1	การออกแบบห้องคั่วกาแฟ โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน	20
3.2	คอมพิวเตอร์	21
3.3	ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work 2020	22
3.4	เปิดแบบจำลอง	22
3.5	กำหนดขอบเขตของปริมาตรภายใน	23
3.6	การปรับตั้งความละเอียดของกริด	23
3.7	แสดงจำนวนเซลล์จากโปรแกรม CFD-CADalyzer	24
3.8	เปิดแบบจำลองในโปรแกรม CFD-AC	24
3.9	กำหนดและตั้งค่าท่อทางเข้าของอากาศ (Inlet)	25
3.10	กำหนดและตั้งค่าท่อทางออกของอากาศ (Outlet)	25
3.11	กำหนดและตั้งค่าหลอดฮาโลเจนสำหรับตำแหน่งติดตั้ง 4 มุม รอบห้องคั่ว	26
3.12	กำหนดและตั้งค่าหลอดฮาโลเจนสำหรับตำแหน่งติดตั้งตรงกลางของห้องคั่ว	26
3.13	กำหนดและตั้งค่าหลอดฮาโลเจนสำหรับตำแหน่งติดตั้งด้านบนของห้องคั่ว	27
3.14	กำหนดจำนวนการประมวลผล	27
3.15	แสดงผลลัพท์การจำลองในโปรแกรม CFD-VIEW	28
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะของห้องคั่วที่จำนวนกริด แต่ละความละเอียด	29
4.2	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิเข้า 180°C	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 180°C	30
4.4	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	31
4.5	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 220°C	31
4.6	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วที่ 1 โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C	32
4.7	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 270°C	32
4.8	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180°C	33
4.9	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิ	34
4.10	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	34
4.11	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 220°C	35
4.12	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C	35
4.13	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 270°C	36
4.14	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180°C	37
4.15	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 180°C	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	38
4.17	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220°C	38
4.18	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C	39
4.19	กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270°C	39
4.20	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	40
4.21	กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270°C	40
4.22	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	41
4.23	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220°C	41
4.24	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วที่ 1 โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C	42
4.25	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270°C	42
4.26	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180°C	43
4.27	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180°C	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	44
4.29	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220°C	45
4.30	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C	45
4.31	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270°C	46
4.32	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180°C	47
4.33	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180°C	47
4.34	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C	48
4.35	กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220°C	48
4.36	แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C	49
4.37	กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270°C	49
4.38	แผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว ที่อุณหภูมิ 180°C ความเร็วลม 4, 6 และ 8 m/s	50
4.39	แผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว ที่อุณหภูมิ 220°C ความเร็วลม 4, 6 และ 8 m/s	51
4.40	แผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว ที่อุณหภูมิ 270°C ความเร็วลม 4, 6 และ 8 m/s	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.1	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้อยั่ว	69
ค.2	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้อยั่ว	69
ค.3	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้อยั่ว	69
ค.4	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้อยั่ว	70
ค.5	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้อยั่ว	70
ค.6	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้อยั่ว	70
ค.7	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้อยั่ว	71
ค.8	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้อยั่ว	71
ค.9	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้อยั่ว	71
ค.10	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้อยั่ว	72
ค.11	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้อยั่ว	72
ค.12	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้อยั่ว	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.13	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้องห้องคั่ว	73
ค.14	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้องห้องคั่ว	73
ค.15	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้องห้องคั่ว	73
ค.16	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้องห้องคั่ว	74
ค.17	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้องห้องคั่ว	74
ค.18	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้องห้องคั่ว	74
ค.19	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้องห้องคั่ว	75
ค.20	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้องห้องคั่ว	75
ค.21	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้องห้องคั่ว	75
ค.22	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้องห้องคั่ว	76
ค.23	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้องห้องคั่ว	76
ค.24	ผลทดลองการกระจายของอนุภาคในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้องห้องคั่ว	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.25	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุม ของด้านนอกห้อยั่ว	77
ค.26	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง ของห้อยั่ว	77
ค.27	ผลทดลองการกระจายของอนุกรมในห้อยั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา ของห้อยั่ว	77



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

กาแฟเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล *Rubiaceae family* ซึ่งมีอยู่ 2 สายพันธุ์ที่มีความสำคัญทางการค้า คือ *C. arabica* และ *C. canephora* โดย *C. arabica* จะรู้จักในชื่อ กาแฟพันธุ์อะราบิก้าและ *C. canephora* จะรู้จักกันในชื่อของ กาแฟพันธุ์โรบัสต้า [1] โดยกาแฟนั้นเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก ซึ่งมูลค่าการซื้อขายในตลาดโลกนั้นเป็นลำดับที่สอง รองลงมาจากน้ำมันปิโตรเลียม โดยรายได้ของประชากรมากกว่า 50 ประเทศขึ้นอยู่กับกาแฟ ซึ่งประเทศไทยได้มีการนำกาแฟพันธุ์โรบัสต้ามาปลูก และปรากฏว่าได้ผลดีพอสมควร จากนั้นจึงมีการ ขยายพันธุ์และส่งเสริมการปลูกกาแฟพันธุ์นี้ออกไปอย่างกว้างขวางในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งแหล่งที่ปลูกกาแฟโรบัสต้าทางภาคใต้ของประเทศไทย นั้นได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร ระนอง นครศรีธรรมราช พังงาและกระบี่ โดยจังหวัดชุมพรนั้นเป็นแหล่งเพาะปลูกกาแฟแหล่ง ใหญ่ของประเทศไทย ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่ราบต่ำ และมีข้อดีแก่ผู้เพาะปลูก เช่น ต้นกาแฟสามารถเพาะปลูกได้ง่าย ทนทานต่อการติดเชื้อ ทนต่ออุณหภูมิและระดับความชื้นสูง อีกทั้งนี้ยังให้ผลผลิตของเมล็ดกาแฟมากกว่าและผลยังสุกเร็วกว่าเมื่อเทียบกับพันธุ์อาราบิก้าอีกด้วย [2]

โดยทั่วไปเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ได้รับความนิยมที่สุดในท้องตลาดคือ เครื่องคั่วแบบ Drum Roasters เป็นที่นิยมกันในหมู่นักคั่วที่มีความชำนาญ ซึ่งวัสดุภายในถังคั่วเป็นโลหะ หมุนด้วยความเร็วต่ำอยู่เหนือเปลวไฟ เครื่องคั่วชนิดนี้ถูกออกแบบให้สามารถควบคุมเปลวไฟและความร้อนได้ และยัง สามารถควบคุมการหมุนเวียนของอากาศในเครื่องคั่วได้อีกด้วย ในส่วนข้อเสียของเครื่องคั่วประเภทนี้ หากหม้อคั่วกาแฟหมุนช้า สารกาแฟจะสัมผัสผนังหม้อคั่วมากขึ้น นั้นหมายถึงมีความเสี่ยงที่สารกาแฟจะ Over-roasted และถ้า Drum Speed สูงเกินไป ก็มีโอกาสที่สารกาแฟจะแตกหักได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมมากขึ้น เช่น การใช้ลมร้อน การอบแห้งแบบฟลูอิดไธด์เบด การอบแห้งโดยใช้ป้อนความร้อน เป็นต้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น [3]

เทคนิคฟลูอิดไธด์เบดเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ยกตัวอย่างเช่น การอบแห้งพริก การอบแห้งเมล็ดกาแฟ และการอบแห้งถั่วลิสง เป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานนั้นง่ายๆ คือ จะทำให้วัตถุที่อยู่ในเบดมีพฤติกรรมคล้ายของไหล โดยใช้ของไหลสร้างแรงยกตัวให้กับวัตถุ ทำให้วัตถุในเบดลอยตัวอย่างเป็นอิสระ และเทคนิคนี้ก็ยังมีข้อได้เปรียบกว่าการอบแห้งแบบอื่น คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการไหลในคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล จะเป็นการสร้างแบบจำลองที่สามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ และสามารถทำนายสภาวะเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทางของอากาศได้ [5] โดยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟฟิกส์ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถเข้าใจในปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผลทำให้สามารถปรับปรุงตัดแปลงรูปแบบของสมการออกแบบจนได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจในผลที่แสดงออกมา ก่อนนำไปสร้างชิ้นงานจริง [6]

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดมีประโยชน์ต่อการคงรสชาติและลดการไหม้ของพื้นผิวเมล็ดกาแฟ [7] ซึ่งในการออกแบบเครื่องคั่วกาแฟคณะผู้จัดทำได้ทำการเลือกเครื่องคั่วกาแฟแบบ Fluid-Bed Roasters เป็นพื้นฐานและมีการประยุกต์การใช้งานโดยการติดตั้งหลอดฮาโลเจนเข้าไปยังเครื่องคั่วกาแฟ ซึ่งหลอดฮาโลเจนมีคุณสมบัติคือ สามารถเปล่งแสงสว่างและให้อุณหภูมิที่สูงกว่าหลอดไฟแบบทั่วไป และตัวหลอดมีการปล่อยรังสีอินฟราเรดเมื่อรังสีตกกับกระแทกกับเมล็ดจะเกิดการดูดซับกลายเป็นพลังงานความร้อนในเมล็ดทำให้เมล็ดสุกจากภายใน ฉะนั้นการออกแบบเครื่องคั่วกาแฟจำเป็นต้องทำการออกแบบตำแหน่งในการติดตั้งหลอดฮาโลเจนเพื่อให้เกิดการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วได้ทั่วถึงที่สุดและทำให้ห้องคั่วเกิดสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการคั่วกาแฟ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องคั่วกาแฟ โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน
2. เพื่อหารูปแบบของลักษณะการติดตั้งหลอดฮาโลเจนที่เหมาะสมต่อการให้ความร้อนภายในห้องคั่วกาแฟ โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ห้องคั่วกาแฟโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ขนาด 152.4 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร (สำหรับเมล็ดกาแฟ 1 กิโลกรัม)
2. ตำแหน่งการติดตั้งหลอดฮาโลเจน 1000 วัตต์ จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ ติดตั้งไว้ด้านบนฝาของห้องคั่ว, ติดตั้งไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องคั่ว และติดตั้งไว้ตรงกลางของห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุณหภูมิที่ทางเข้า คือ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส
4. ความเร็วลมที่ใช้ คือ 4, 6 และ 8 เมตรต่อวินาที
5. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง คือ CFD-CADalyzer, CFD-ACE, CFD-View

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบของห้องคั่วกาแฟที่เหมาะสมโดยการใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน
2. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการคั่วกาแฟโดยใช้เทคนิค fluidized bed ร่วมกับหลอดฮาโลเจน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
	2565	2566								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ค้นหาและศึกษาข้อมูล	←→									
2. ออกแบบการทดลอง		←→								
3. ดำเนินการทดลอง			←→							
4. สรุปผล							←→			
5. จัดทำเล่มรายงาน									←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำลองแบบการไหล

การจำลองการไหลด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ด้วยการใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ในการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ตัวอย่างโปรแกรม CFD ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ทำการทดลองในอุโมงค์ลม จนทำให้ CFD จะเริ่มใช้กันโดยแพร่หลายมากขึ้นและเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งพฤติกรรมการไหลของของไหลสามารถอธิบายโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการจำลองปรากฏการณ์จะคำนวณด้วยชุดของสมการอนุรักษ์ (Conservation Equations)

1. สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equations)
2. สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equations)
3. สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Equations)

กล่าวคือ CFD เป็นสาขาวิชาหรือเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่สำหรับในประเทศไทย แต่ในต่างประเทศ CFD ได้รับการพัฒนาและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก CFD เป็นการนำ ความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ในการแก้ไขปัญหาทั้งทางด้าน Aerospace Engineering และ Fluid Dynamics ซึ่งในบางครั้งการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่สามารถที่จะแก้ไขปัญหาได้ดีเนื่องจากจะต้องมีการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์แต่ CFD สามารถทำได้เพียงแต่จะต้องเข้าใจปัญหาและสมการที่จะใช้อย่างแท้จริง จึงนับได้ว่า CFD เหมาะที่จะศึกษาอย่างจริงจังในประเทศไทย [8] โดย CFD สามารถทำให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ ของกระแสอากาศในสถานะหนึ่งๆ และสามารถทำนายภาวะของเชิงความร้อน ความเร็ว หรือ ทิศทาง ได้อย่างแม่นยำขึ้น และจะนำไปสู่การออกแบบที่ถูกต้องและประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูง โดยเฉพาะถ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่ ซึ่งต้องมีการลงทุนในระบบหลายร้อยหรือหลายพันล้านบาทก็จะยิ่งช่วยให้ทั้งวิศวกรและเจ้าของโครงการมั่นใจในผลการออกแบบและช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นได้เป็นอย่างมาก ประโยชน์ของ CFD นั้นจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านวิศวกรรม เนื่องจาก CFD ช่วยประหยัดทั้งในด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบพัฒนาปรับปรุงและทำให้เห็นภาพของการไหลได้ชัดเจนขึ้นผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียว ซึ่งสามารถอธิบายถึงสมการการเคลื่อนที่การไหลทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน ได้นำมาประยุกต์ใช้ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การนำ CFD มาช่วยวิศวกรปรับอากาศในงานออกแบบ
2. การนำ CFD มาช่วยวิเคราะห์การหมุนวนของอากาศ
3. การศึกษาผลกระทบเนื่องจากรูปแบบของครีบต่อการถ่ายเทความร้อน
4. การคำนวณทางด้านวิศวกรรมความร้อนด้วยโปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamic) สร้างความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของจำนวนระยะห่างระหว่างครีบและท่อเพื่อให้เกิดการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) [6]

2.2 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

การศึกษาปรากฏการณ์ของของไหล การถ่ายเทความร้อนและปรากฏการณ์อื่นๆ ต้องทำการทดลองที่มีค่าใช้จ่ายสูงและมีระยะเวลานาน ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองอาจต้องทดลองซ้ำ โดยแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้ผลที่เป็นไปในทางที่ดีหรือไม่ดี และเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้จึงนำเอกสารการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเป็นการทำนายปรากฏการณ์ทางความร้อน การถ่ายเทมวลและปรากฏการณ์อื่นๆ จะถูกอธิบายในรูปสมการเชิงอนุพันธ์เชิงอนุพันธ์ย่อย สามารถใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ในการหาคำตอบ เช่น ระเบียบวิธีผลสืบเนื่อง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่ม เป็นต้น โดยจะเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ใช้อธิบายพฤติกรรมทางกายภาพให้เป็นสมการพีชคณิต อยู่ในรูปแบบของการบวก ลบ คูณ และหาร ที่หาผลเฉลยได้ง่ายขึ้น การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเป็นการสร้างความเข้าใจการยืนยันผลที่ได้จากทฤษฎีและการทดลอง สามารถนำเสนอค่าตัวแปรต่างๆ ด้วยรูปภาพเสมือนจริง สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ลักษณะการไหลการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในขั้นตอนตอนนี้ [5]

ขั้นตอนการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

(ก) ขั้นตอนของการประมวลผล

เป็นการพิจารณาปัญหาที่สนใจ การตั้งสมมติฐานที่เหมาะสม การสร้างแบบจำลองและกริด ในการสร้างกริดจะต้องมีการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด เป็นการหาความเป็นอิสระของกริดที่มีผลความถูกต้องของผลลัพธ์จากการคำนวณได้ด้วยการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข การตรวจสอบทำได้โดยการเพิ่มครึ่งละ 1/3 ของจำนวนกริดเดิม และทำการทดสอบดูจำนวนกริดเท่าไรที่ไม่ทำให้คำตอบเปลี่ยนแปลง สามารถเลือกใช้กริดจำนวนน้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ผลเปลี่ยนแปลง ทำให้ลดขั้นตอนและระยะเวลาในการคำนวณลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ขั้นตอนและวิธีการประมวลผล

เป็นการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อความเหมาะสมกับปัญหา กำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆในแบบจำลอง กำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการทำงาน เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตรายละเอียดของ Server Control และทำการประมวลผล

(ค) ขั้นตอนหลังจากการประมวลผลเสร็จ

เป็นการตรวจและแก้ไขปรับปรุงผลที่ได้เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องที่สุด โดยพิจารณาจากผลของภาพการกระจายตัวของอากาศและอุณหภูมิ สามารถแสดงถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือแสดงผลลัพธ์เป็นตัวเลขต่างๆ เช่น สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น เมื่อทำการตรวจผลคำตอบแล้ว สามารถกลับไปแก้ไขปรับปรุงในส่วนที่ยังไม่เหมาะสมได้ เช่น ความละเอียดของกริด หรือการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งอาจทำให้ผลคำตอบนั้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงเพิ่มขึ้นอีกด้วย [5]

ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์

เป็นการวิเคราะห์ปัญหาการไหลเพื่อหาความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ ฯลฯ สำหรับใช้ในการออกแบบงานในทางวิศวกรรมหรือการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งได้ก่อให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมากในปัจจุบัน วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลผสมผสานกับความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟฟิกส์ ทำให้นักวิเคราะห์ทำความเข้าใจได้เป็นอย่างดีและง่ายขึ้น เป็นผลให้สามารถปรับปรุงตัดแปลงรูปแบบของการออกแบบจนได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ก่อนนำไปสร้างจริงหรือทำการทดลองอีกต่อหนึ่งเพื่อให้มั่นใจในการออกนั้น [5]

2.3 เครื่องคั่วกาแฟ

เครื่องคั่วที่ได้รับความนิยมกันมีด้วยกัน 3 ประเภท

2.3.1 เครื่องคั่วประเภท Fluid Bed Roasters

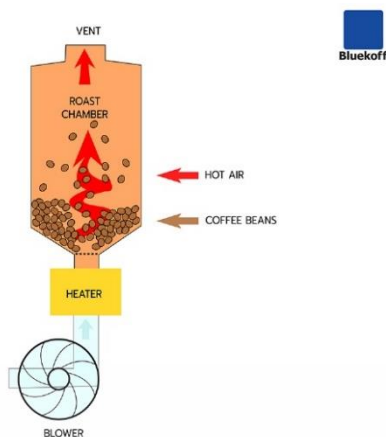
2.3.2 เครื่องคั่วประเภท Drum Roasters

2.3.3 เครื่องคั่วประเภท Tangential Roasters

2.3.1 เครื่องคั่วประเภท Fluid Bed Roasters

เป็นเครื่องคั่วที่ถูกประดิษฐ์โดย Michael Sivetz (USA) ลักษณะการทำงานจะมีการนำลมร้อนผ่านเข้ามาทางด้านล่างของห้องคั่วไปยังด้านในของห้องคั่ว เมล็ดกาแฟจะถูกเป่าด้วยลมร้อน ระหว่างที่คั่วอยู่นั้นลมร้อนก็จากถูกระบายออกไปผ่านท่อปล่อยไอเสีย ซึ่งเอกลักษณ์ของเครื่องคั่วประเภทนี้จะทำให้รสชาติกาแฟที่ได้มีรสชาติที่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



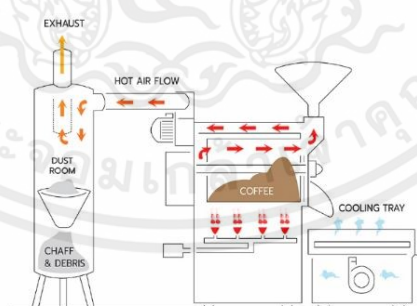
1. เครื่องคั่วกาแฟแบบ Fluid Bed Roasters

ภาพที่ 2.1 เครื่องคั่วประเภท Fluid Bed Roasters

(ที่มา : <https://www.bluekoff.com>)

2.3.2 เครื่องคั่วประเภท Drum Roasters

เป็นเครื่องคั่วที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ลักษณะการทำงานจะมีหม้อคั่วเป็นตัวถังที่สามารถหมุนได้โดยจะถูกหมุนอยู่บนวัตถุให้ความร้อนเป็นการให้พลังงานความร้อน ผู้คั่วสามารถควบคุมอากาศที่จะเข้ามาทางด้านในหม้อคั่วเพื่อผ่านไปที่เมล็ดได้อีกด้วย และสามารถปรับความเร็วของรอบหมุนเพื่อให้เมล็ดกาแฟสัมผัสกับความร้อนได้อย่างทั่วถึง



2. เครื่องคั่วกาแฟแบบ Drum Roasters

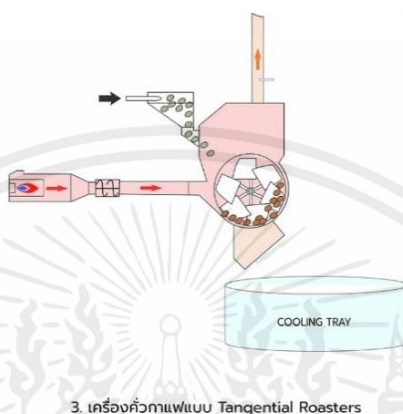
ภาพที่ 2.2 เครื่องคั่วประเภท Drum Roasters

(ที่มา : <https://www.bluekoff.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เครื่องคั่วประเภท Tangential Roasters

เป็นเครื่องคั่วที่มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกับแบบ Fluid Bed Roasters แต่จะมีความแตกต่างตรงที่เครื่องคั่วประเภทนี้จะมีใบพัดที่มีลักษณะคล้ายๆ พลับที่ จะคอยตักเมล็ดกาแฟให้หมุนอยู่ด้านในห้องคั่ว ซึ่งก็จะทำให้เมล็ดกาแฟนั้นถูกคั่วได้สม่ำเสมอ [9]



ภาพที่ 2.3 เครื่องคั่วประเภท Tangential Roasters

(ที่มา : <https://www.bluekoff.com>)

2.4 ฟลูอิดเซชัน

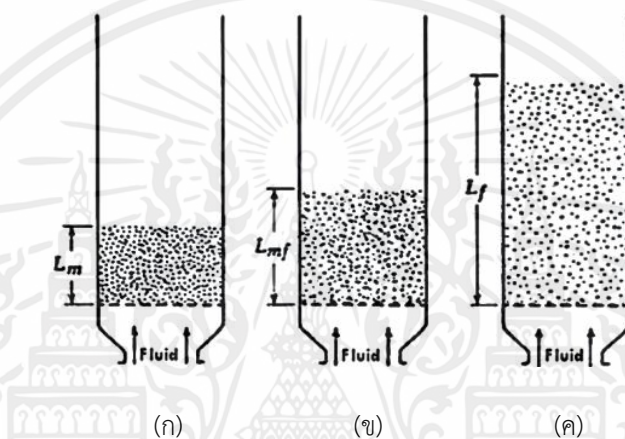
เป็นกระบวนการที่ของแข็งสัมผัสกับของไหล ของแข็งจะถูกนำไปวางบนตะแกรงภายในของห้องทดลอง ซึ่งปัจจุบันห้องทดลองมีรูปร่างหลายลักษณะ โดยปล่อยของไหลผ่านทางช่องทางเข้าของตะแกรงที่รองรับของแข็งในด้านล่าง ซึ่งของไหลจะผ่านชั้นของของแข็ง และเคลื่อนที่ออกทางท่อทางออกของห้องทดลอง และทำการเพิ่มความเร็ว จนเห็นของแข็งลอยตัวขึ้นเป็นอิสระจากกัน ลักษณะนี้คุณสมบัติของของแข็งจะคล้ายกับของไหล หรือหมายถึง เกิดการหมุนเวียนของของแข็งภายในเบด [10]

2.4.1 เบด

เบด (Bed) หมายถึง พื้นที่ในห้องทดลองที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือภายในห้องทดลองมีการเคลื่อนตัวของของไหลภายในห้องทดลอง ตั้งแต่ตะแกรงกระจายของไหล (Distributor) ไปจนถึงผิวหน้าของของแข็งภายในห้องทดลอง เมื่อนำของแข็งใส่ในห้องทดลองตามความเหมาะสมแล้ว เริ่มต้นโดยการปล่อยให้ของไหลผ่านไปยังช่องทางเข้าด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของห้องทดลอง ขณะความเร็วของไหลที่มีค่าน้อยของแข็งจะนิ่งอยู่กับที่ เรียกว่า เบตนิ่ง เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของไหลมากขึ้นจนเริ่มมีการขยับและจัดตัวกันอย่างเป็นระเบียบของของแข็ง เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกเล็กน้อยเม็ดของแข็งจะลอยตัวอย่างอิสระต่อกัน จะเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า จุดเริ่มการเกิดฟลูอิดไลเซชัน เมื่อเลยจุดนี้ไปแล้วเบตจะเกิดการขยายตัวตามความเร็วของของไหลที่เพิ่มมากขึ้นจนสังเกตได้ว่า เม็ดของแข็งก็จะเริ่มมีการจับตัวกัน ลักษณะเบตเช่นนี้เรียกว่า ฐานฟลูอิดไลเซชันแบบหนาแน่น หากมีของไหลความเร็วเพิ่มขึ้นจนของไหลเกือบพาเอาเม็ดของแข็งลอยออกจากห้องทดลอง (ยังไม่ออก) ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ฐานฟลูอิดไลเซชันแบบเจือจาง [11]



ภาพที่ 2.4 แสดงถึงพฤติกรรมของการเกิดฟลูอิดไลเซชัน (ก) เบตนิ่ง (ข) เบตหนาแน่น และ (ค) เบตเจือจาง [12]

(ที่มา : อีลิหัยะ สนิโซ, ลุดพี สื่อนิ, 2020).

ฐานฟลูอิดไลเซชันที่เป็นอนุภาคของแข็ง การขยายตัวของเบตอย่างสม่ำเสมอ และการหมุนรอบตัวเองอย่างช้าๆของเม็ดของแข็ง เรียกเบตนี้ว่า เบตสม่ำเสมอ หรือ เบตที่เป็นเนื้อเดียวกัน ฐานก่อกองของไหลที่ลักษณะเบตที่ต่างกันของของไหลที่เป็นแก๊สและของเหลว เมื่อความเร็วของแก๊สสูงกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฐานฟลูอิดไลเซชัน แก๊สส่วนนี้จะทำให้เม็ดของแข็งลอยตัว แต่รวมตัวกันในอีกส่วนและเกิดฟองแก๊สจากการก่อกอง ฟองแก๊สจะแทรกตัวไปยังพื้นผิวหน้าของเบต และมีการแตกตัวในที่สุด เม็ดของของแข็งจะไหลจากส่วนหลังของฟองแก๊สลงมายังส่วนล่างพร้อมกันในขณะที่ฟองแก๊สลอยขึ้นและส่วนของเม็ดของแข็งบางส่วนลอยตามฟองแก๊สที่เกิดขึ้นไปด้วย จะสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งภายในเบตเกิดขึ้นอย่างสุ่มเบตดังเช่นลักษณะนี้เรียกว่า ฟลูอิดไลเซชันแบบปั่นป่วน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประเภทของฟลูอิดเซชัน

2.4.2.1 ฟลูอิดเซชันสองสถานะ หมายความว่า เบดที่ใช้งานในห้องทดลองประกอบไปด้วยของ 2 สถานะ คือ ของเหลวกับของแข็ง สถานะของของไหลนี้อาจเป็นของเหลวหรือแก๊สก็ได้ สามารถแบ่งการก่อสภาพของของไหลสองสถานะเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แก๊สฟลูอิดเซชัน และฟลูอิดเซชันของเหลว

2.4.2.2 ฟลูอิดเซชันสามสถานะ คือ ภายในห้องทดลองหรือเบดประกอบด้วยของ 3 สถานะอยู่พร้อมกัน คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส การเกิดฟลูอิดเซชันสามสถานะนี้เป็นกระบวนการที่พัฒนาไปจากการเกิดฟลูอิดเซชันสองสถานะ ห้องทดลองที่เป็นฟองและห้องทดลองที่นำของแข็งเข้าไปบรรจุ

2.4.3 การอบแห้งแบบฟลูอิดเซชัน

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเซชันเบด เป็นวัสดุสำหรับการอบแห้งโดยการนำลมร้อนใช้ในการเป่าผ่านชั้นวัสดุ (Bed) จึงทำให้วัสดุเกิดการลอยตัวอย่างเป็นอิสระ จนทำให้มีความสม่ำเสมอในการคลุกผสมเข้าด้วยกันและสัมผัสกับลมร้อน มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูงและลดความชื้นของวัสดุได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับการทำให้วัสดุที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอแห้ง เช่น เมล็ดธัญพืช เป็นต้น และยังใช้ได้กับของเหลวแบบชั้นหนืด เนื้อผลไม้ อีกด้วย

2.5 ความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

ความเร็วลมเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเซชันเบด โดยความเร็วลมจะเป็นตัวแปรที่จะกำหนดลักษณะของการเกิดฟลูอิดเซชันของวัสดุ กล่าวคือถ้าใช้ความเร็วลมที่สูงเกินไปอาจจะทำให้วัสดุหลุดออกจากห้องอบแห้งได้ ในทางตรงกันข้าม ความเร็วลมที่ต่ำเกินไปจะไม่สามารถทำให้วัสดุเกิดฟลูอิดเซชันได้ ซึ่งความเร็วลมที่จะนำมาใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดเซชันเบดก็คือ ความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน (Minimum air velocity) [13]

2.6 หลอดฮาโลเจน (Tungsten Halogen)

เป็นหลอดที่กำเนิดแสงจากความร้อนโดยการปล่อยกระแสไหลผ่านไส้หลอดที่ทำจากทังสเตนจนร้อน แล้วเปล่งแสงออกมา เช่นเดียวกับหลอด incandescent ต่างกันตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน, คลอรีน, โบรมีนและฟลูออรีนลงในหลอดที่ทำด้วยควอทซ์สารที่เติมเข้าไปจะป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000-3400 องศาเซลวิน ช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้นกว่าหลอด incandescent ราว 2-3 เท่า คือ 1500-3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง มีประสิทธิภาพมากกว่าหลอด incandescent ประมาณ 12 - 22 lm/w และสีของลำแสงขาวกว่า คือมีอุณหภูมิสีประมาณ 2800 องศาเคลวิน ทำให้มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีสูงถึง 100% [14]

2.7 หลักการทำงานของหลอดฮาโลเจน

1. เมื่อมีกระแสไหลผ่านไส้หลอดทั้งสแตนท์จะทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000 องศาเคลวิน ภายในหลอดแก้วควอทซ์ที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 470 องศาเคลวิน ทำให้อุณหภูมิของทั้งสแตนท์ระเหิดออกจากไส้หลอด
2. ระหว่างที่อุณหภูมิของทั้งสแตนท์ซึ่งร้อน เคลื่อนที่ห่างจากไส้หลอด ก็จะรวมตัวกับอนุภาคหรือโมเลกุลของสารฮาโลเจน เมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้ผนังแก้วควอทซ์มากขึ้น ก็จะรวมตัวกับอนุภาคของสารฮาโลเจนมากยิ่งขึ้น
3. โมเลกุลที่เกิดจากการรวมกันของอนุภาคทั้งสแตนท์และสารฮาโลเจน โมเลกุลจะไม่มีเสถียรภาพเมื่ออุณหภูมิต่ำลง และวิ่งเข้าหาไส้หลอด ระหว่างที่วิ่งเข้าหาไส้หลอดอนุภาคของสารฮาโลเจนจะแยกตัวออกจากโมเลกุลใหญ่เนื่องจากความร้อน
4. เมื่อเข้าใกล้หลอดมากขึ้น อนุภาคของสารฮาโลเจนก็จะแยกตัวออกไปจนหมด เหลือแต่อนุภาคของทั้งสแตนท์ วิ่งไปจับที่ไส้หลอด [15]

2.8 ข้อควรระวังในการใช้หลอดฮาโลเจน

1. หลอดฮาโลเจนทุกประเภท ห้ามจับตัวหลอดด้วยมือเปล่าเด็ดขาด ถ้าจับแล้วต้องใช้ผ้าแห้งสะอาดชุบแอลกอฮอล์เช็ดให้ทั่วแล้วปล่อยให้แห้ง จึงสามารถเปิดใช้งานได้ มิฉะนั้นกระเปาะแก้วจะเกิดคราบสีดำปิดกั้นแสง
2. ขณะใช้งานห้ามจับหลอดเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงมาก
3. หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำที่ใช้แรงดัน 12 หรือ 120 โวลต์ จำเป็นต้องใช้หม้อแปลง ถ้าแรงดันที่หลอดได้รับจากหม้อแปลงสูงกว่าที่กำหนด จะทำให้หลอดอายุสั้นลง
4. โคม downlight สำหรับหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำที่ไม่มีหม้อแปลงติดตั้งมาพร้อมจากโรงงาน หากผู้ติดตั้งวางหม้อแปลงบนฝ้าเพดานและไม่มีการป้องกันที่ดีพอ โดยอาจรู้เท่าไม่ถึงการณ์ อาจทำให้เกิดอัคคีภัยได้
5. อย่าติดตั้งหลอดฮาโลเจนใกล้กับวัสดุไวไฟ เช่น ทินเนอร์, เบนซิน หรือวัสดุที่ไวต่อความร้อน
6. หลีกเลี่ยงการสัมผัสจางสะท้อนแสงของหลอดฮาโลเจน เพื่อป้องกันไม่ให้สาร Dichroic เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การใช้อุปกรณ์หรือไฟกับหลอดฮาโลเจนอาจทำให้หลอดอายุสั้นลง ทั้งนี้หาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากแต่ละบริษัทที่อาจมีข้อกำหนดการใช้อุปกรณ์หรือไฟต่างกัน [15]

2.9 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75-100 ไมโครเมตร ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดเป็น 3 ระดับคือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared radiation, NIR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 0.75-3 ไมโครเมตร รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle-infrared radiation, Mid-IR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 3-25 ไมโครเมตร และรังสีอินฟราเรดไกล (Far-infrared radiation, FIR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 25-100 ไมโครเมตร [8] อินฟราเรดแผ่รังสีในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิววัสดุ รังสีอินฟราเรดจะทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โดยที่พลังงานการทะลุผ่านของรังสีอินฟราเรดจะลดลงในรูปแบบเอกโพเนนเชียล (Exponential) ตามระยะความหนาจากผิววัสดุ ซึ่งมีการดูดซับพลังงานรังสีอินฟราเรดในเนื้อวัสดุ ทำให้โมเลกุลในเนื้อวัสดุเกิดการสั่นสะเทือน แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จนถึงระยะความหนาวัสดุที่รังสีอินฟราเรดไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้จะมีการนำความร้อนในเนื้อวัสดุชั้นต่อไป ดังนั้น เมื่อน้ำที่อยู่ในโมเลกุลวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดการแพร่ออกไปยังผิววัสดุทำให้วัสดุชั้นนั้นแห้งลง [16]

2.10 ฮีตเตอร์ (Heaters)

เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มอุณหภูมิแก่ชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำ (ตัวความต้านทาน R) ซึ่งส่งผลให้ขดลวดตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟสามารถใช้ได้กับแรงดัน 220 VAC และ 380 VAC หลักการทำงานของฮีตเตอร์นั้นไม่ยุ่งยากซับซ้อน ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานฮีตเตอร์เข้าใจหลักการทำงานของฮีตเตอร์ได้เร็ว ผู้ใช้งานจึงสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก แม้จะเป็นมือใหม่ก็เข้าใจหลักการของฮีตเตอร์ในเวลาสั้นๆ ซึ่งในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ ฮีตเตอร์ เป็นจำนวนมาก เนื่องจากราคาถูก อีกทั้งยังสามารถสั่งขนาด รูปทรง ได้ตามความต้องการได้อีกด้วย โดยส่วนประกอบส่วนใหญ่ของฮีตเตอร์ มีดังนี้

2.10.1. ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO): คุณสมบัตินำความร้อนได้ดี แต่มีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ ทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างขดลวดตัวนำฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันกระแสรั่ว (Leak Current) จากขดลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ ที่สำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาด เพราะจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น การแก้ไขคือ การนำฮีตเตอร์ไปอบเพื่อไล่ความชื้นในฮีตเตอร์

2.10.2. แสตนเลส (Stainless) สำหรับผลิตฮีตเตอร์มีหลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน
ดังนี้

– Stainless304: ใช้สำหรับงานขึ้นรูปเพื่อตกแต่งให้สวยงาม สามารถป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี

– Stainless316: ถูกออกแบบให้ป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี สามารถใช้ในงานอุตสาหกรรมหนักและสถานที่ใกล้ทะเลซึ่งมีความเป็นกรด-ด่างสูง

– Stainless430: เป็นแสตนเลสที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300 แสตนเลสชนิดนี้นิยมนำมาตกแต่งภายในอาคารต่างๆ

2.10.3. ลวดฮีตเตอร์(Heating wire) เรียกว่า ลวด Nikrothal 80 หรือ Ni80 มีส่วนผสมของนิเกิล 80% และโครเมียม 20% สามารถทนอุณหภูมิสูงถึง 1100 -1400°C มีคุณสมบัติเหนียว ยืดหยุ่นสูง และทนความร้อนได้สูงถึง 1100-1400 องศาเซลเซียส หลักการทำงานของฮีตเตอร์, ฮีตเตอร์ไฟฟ้า, ขดลวดฮีตเตอร์ ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนี้

– ฮีตเตอร์แท่ง หรือ Cartridge Heater ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก

– ฮีตเตอร์ท่อกลม/ครีป หรือ Finned Heater และฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้งในเตาอบ

– ฮีตเตอร์จุ่ม หรือ Immersion Heater หรือบางที่เรียกว่าฮีตเตอร์ต้มน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานต้มน้ำ – ต้มน้ำมัน งานผสมสาร

– ฮีตเตอร์บอบบิ้น หรือ Bobbin Heater ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม

– ฮีตเตอร์อินฟราเรด หรือ Infrared Heater ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ ใช้ติดตั้งในเตาอบหรือเหนือคอนเวเยอร์ได้

– ฮีตเตอร์รัดท่อ หรือ Band Heater ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก

– ฮีตเตอร์แผ่น หรือ Strip Heater ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงใดๆ ก็ได้

– ฮีตเตอร์เส้น หรือ Cable Heater ใช้ให้ความร้อนเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นน้ำแข็งในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำๆ สามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมทำความเย็น [17]

2.11 โบลเวอร์ (Blower)

มีการทำงานที่คล้ายพัดลมแต่ไม่ได้หมายถึงการทำงานทั้งหมดจะเหมือนพัดลม ซึ่งโบลเวอร์จะทำงานเหมือนกังหันลมหมุนกลับทิศ โดยจะมีใบพัดติดอยู่กับโรเตอร์ ทำหน้าที่ดูดลมและกวาดอากาศรอบๆ โดยปกติแล้วจากด้านข้างและด้านบน โดยที่อากาศจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นภายใต้การหมุนของใบพัดก่อนที่จะถูกส่งออกไปด้วยความเร็วสูง สำหรับโบลเวอร์หอยโข่งเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานมากที่สุด ซึ่งจะให้ปริมาณลมได้มากและมีความดันลมที่สูงพอประมาณ สำหรับการทำงานของโบลเวอร์หอยโข่งแรงลมจะเกิดจากการหมุนของใบพัดที่ติดกับวงล้อ โดยที่การหมุนของวงล้อเกิดจากต้นกำลังจากภายนอก ไม่ว่าจะเป็นแหล่งพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้า หรือแรงพลังงานอื่นๆ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนที่ใบพัดหมุน อากาศภายนอกจะถูกดึงเข้าสู่ตัวโบลเวอร์ในแนวแกนหมุน ทำให้เร่งให้มีความเร็วและความแรงขึ้น จากนั้นอากาศจะถูกเหวี่ยงออกไปปะทะกับตัวโครงโบลเวอร์โดยมีลักษณะคล้ายกันหอย และแรงลมจะไหลออกจากโบลเวอร์ในแนวรัศมีใบพัด [13]

2.11.1 การออกแบบเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด [13]

2.11.1.1 ทาขนาดของ Blower

วิธีหาขนาดของ Blower มีสมการดังนี้

$$Q = A \times V \quad (2.1)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหล (CFM)

A = พื้นที่หน้าตัด (m^2)

V = ความเร็วลม (m/s)

2.11.1.2 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องอบแห้ง [18]

ปริมาตร = พื้นที่หน้าตัดของเบด x ความสูงของเบดเริ่มต้น

$$\left(\frac{m}{\rho b}\right) = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) (L_0) \quad (2.2)$$

$$D = \sqrt{\frac{4m}{\pi \rho b L_0}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m = มวลของกาแฟ (kg)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของห้องอบแห้ง (m)

L_0 = ความสูงเบดเริ่มต้น (kg/m²)

2.11.1.3 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอเซชัน (U_{mf}) [19]

$$\frac{\rho_a(\rho_t - \rho_a)gd^3_s}{\mu_a} = \frac{150(1 - \epsilon_{mf})}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} \left(\frac{\rho_a U_{mf} d_s}{\mu_a} \right) + \frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3} \left(\frac{\rho_a U_{mf} d_s}{\mu_a} \right)^2 \quad (2.3)$$

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²)

d_s = เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของวัสดุ (m)

ϵ_{mf} = สัดส่วนช่องว่างของอากาศขณะเกิดฟลูอิดไอเซชัน

U_{mf} = ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอเซชัน (m/s)

ϕ_s = ค่าแฟคเตอร์รูปร่าง

μ_a = ความหนืดของอากาศ (Pa · s)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิศเรศ วรณทร [6] ได้ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพรุณ ในเครื่องอบแห้งแบบร้อนด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics, CFD) มาจำลองรูปแบบการศึกษา จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศเข้าและความเร็วอากาศเข้าของวัสดุพรุณที่นำมาอบแห้งภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ทำการสร้างแบบจำลองทั้งหมด 9 แบบจำลอง โดยเปลี่ยนความเร็วและอุณหภูมิอากาศเข้าที่ 0.5, 0.75 และ 1.0 m/s อุณหภูมิอากาศเข้าที่ 333, 343 และ 353 K ทำการศึกษาในส่วนของรูปแบบวัสดุพรุณที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมเท่านั้น จากผลการวิเคราะห์การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลพบว่า ผลของอุณหภูมิในการอบที่อุณหภูมิสูง จะมีอัตราการลดความชื้นและการกระจายตัวของอุณหภูมิในการอบได้ดี

V.D. Nagaraju [7] ได้มีการพัฒนากระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟที่เกี่ยวข้องกับการคั่วแบบสเปาเต็ดเบต (SBR) ตามด้วยการทำให้เย็นตัวลง ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วคือ 210°C และที่ระยะเวลา 22 นาที พบว่ากาแฟที่ผ่านการคั่วแบบสเปาเต็ดเบต ตามด้วยการลดอุณหภูมิด้วยความเย็นมีผลต่อการกักเก็บสารระเหย โดยเฉพาะพวก furans และ thiol มากกว่าการคั่วด้วยถังแบบธรรมดา (CDR) ค่าคงที่อัตราการสลายตัวของเมล็ดกาแฟสเปาเต็ดเบต SBR ที่ผ่านการอบเป็นศูนย์และสี่ลำดับที่ 0 และสี่ลำดับที่ 1 เท่ากับ 0.079, 1.9 และ 0.04488 ตามลำดับ โดยที่เมล็ดกาแฟที่คั่วด้วยถังแบบธรรมดา CDR เท่ากับ 0.03942, 1.398 และ 0.030 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าวิธีการคั่วแบบสเปาเต็ดเบต มีประโยชน์ต่อการคงรสชาติของสารระเหยและลดการไหม้ของพื้นผิว และจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการแปรรูปกาแฟเพื่อผลิตเมล็ดกาแฟคุณภาพสูงและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ

ปรีดา ปราบภูมิก [8] ศึกษาการใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ร่วมกับวิธีวิเคราะห์อนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (DEM) เพื่อจำลองการเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชันของอนุภาคในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบต ในการหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (U_{mf}) และความดันคร่อมเบตสูงสุด (ΔP_{max}) โดยใช้อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 5 ค่า คือ 0.5, 1, 1.52 และ 2.5 mm ผลการจำลองพบว่าค่า U_{mf} มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มจำนวนอนุภาคค่า U_{mf} และ ΔP_{max} จะมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการจำลองนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงทฤษฎีของงานวิจัยอื่นๆ

ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ และคณะ [10] ได้ศึกษาผลของน้ำหนักของวัสดุที่มีต่อกระบวนการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน ซึ่งวัสดุที่นำมาทดสอบ ได้แก่ พริก, ข้าวเปลือก และถั่วเหลือง โดยทดสอบในหอตลอดที่ทำจากท่ออะคริลิกใส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 19.50 ซม. สูง 75 ซม. ทดลองที่อุณหภูมิ 30°C ในทุกๆการทดลอง และน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 4 ระดับด้วยกัน คือ 250 500 และ 750 กรัม จากการทดสอบพบว่า ที่น้ำหนักของวัสดุ 250 กรัม ข้าวเปลือก, ถั่วเหลือง และพริก เริ่มเคลื่อนที่ตามกระบวนการฟลูอิดไดซ์เซชัน ที่ความเร็วลมเริ่มต้น (U_{mf}) มีค่า 2.25, 3.10 และ 6.20 เมตรต่อวินาที ความดันตกคร่อมมีค่า 0.05, 0.06 และ 0.06 kPa ตามลำดับ ที่น้ำหนัก 500 กรัมความเร็วลมเริ่มต้น (U_{mf}) มีค่า 2.40, 3.70 และ 6.35 เมตรต่อวินาที ความดันตกคร่อมมีค่า 0.11, 0.13 และ 0.14 kPa ตามลำดับ ที่น้ำหนัก 750 กรัมความเร็วลมเริ่มต้น (U_{mf}) มีค่า 3, 5.2 และ 6.97 เมตรต่อวินาที ความดันตกคร่อมมีค่า 0.20, 0.21 และ 0.225 kPa ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เมื่อน้ำหนักของวัสดุเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วลมเริ่มต้น (U_{mf}) ในการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลูอิดไดเซชัน และความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อรูปร่างหรือขนาดของวัสดุที่นำมาทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นความเร็วลมเริ่มต้น (Umf) ในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน และความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

พัชรินทร์ และวีระ [11] ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้งเมล็ดงาโดยได้ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขที่ความหนาเบด 1, 2 และ 3 เซนติเมตรของเมล็ดงา (ที่น้ำหนัก 100, 200 และ 300 กรัม) และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 45 50 55 และ 60°C จากผลการศึกษาพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยของอากาศร้อนที่เหมาะสมทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดในห้องอบเท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาที และที่ความหนาเบด 3 เซนติเมตร เมล็ดงาจะถูกอบให้แห้งจากความชื้นเริ่มต้น 30% มาตรฐานแห้ง เหลือความชื้นสุดท้าย 4% มาตรฐานแห้ง

อีลิหัยะ สนิโซ และคณะ [12] ได้ศึกษาการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้น สามารถให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุดประมาณ 110°C โดยเมื่ออบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดจะลดความชื้นได้มากกว่าการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดเพียงอย่างเดียวประมาณ 50 วินาที โดยการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดมีค่าร้อยละข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดอากาศร้อนอย่างเดียวประมาณร้อยละ 2 ในขณะที่การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดอากาศร้อนอย่างเดียวมีการยุบตัวของโครงสร้างระดับจุลภาคของ เมล็ดข้าวน้อยกว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการให้ความร้อนด้วยอินฟราเรด

ณัฐวุฒิ ชมโลก และคณะ [13] ได้ศึกษาความเร็วลมเริ่มต้นที่ทำให้วัสดุเกิดการลอยตัว และความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชันที่มุมของรูตะแกรงกระจายลม 45, 60 และ 90°C จากการทดลองพบว่ามุมของรูตะแกรงกระจายลมที่ 60°C จะมีค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน แตกต่างจากมุมรูตะแกรงกระจายลมที่ 45 และ 90°C อย่างมีนัยสำคัญทั้งในรูปของเมล็ดกาแฟสด และเมล็ดสารกาแฟ โดยค่าความเร็วลมต่ำสุดที่เกิดขึ้นที่มุมของรูตะแกรงกระจายลม 60°C จะมีค่า 3.9 และ 4.0 เมตรต่อวินาที ในรูปของเมล็ดกาแฟสด และเมล็ดสารกาแฟ โดยรูปแบบของเมล็ดสารกาแฟนั้นจะไม่ส่งผลต่อความเร็วลมในการเกิดฟลูอิดไดเซชัน

สรารุทธิ ดาแก้ว และคณะ [16] เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดและลมร้อน โดยศึกษาการหดตัว สี การทดสอบทางประสาทสัมผัสและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ผลการทดลอง ค่าปริมาณน้ำอิสระและค่าความชื้นในการศึกษาระยะเวลา 15 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระในช่วงอุณหภูมิ 80°C มีปริมาณค่าน้ำอยู่ 0.156 ในช่วงอุณหภูมิ 90°C มีปริมาณค่าน้ำอยู่ 0.155 ในช่วงอุณหภูมิ 100°C มีปริมาณค่าน้ำอยู่ 0.147 และค่าความชื้นในช่วงอุณหภูมิ 80°C มีปริมาณ 2.73 ในช่วงอุณหภูมิ 90°C มีปริมาณ 2.64 ในช่วงอุณหภูมิ 100°C มีปริมาณ 2.67 พบว่าหลังจากระยะเวลาในการเก็บรักษา 15 วัน ค่าปริมาณน้ำอิสระและค่าความชื้นไม่ต่างกัน จะเห็นได้ว่าค่านี้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับได้โดยต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดให้ต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ค่าปริมาณน้ำอิสระและค่าความชื้นที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ตามค่ามาตรฐาน

กิตติชัย สุขคำมา [18] ได้ศึกษาเพื่อสร้างและทดลองเครื่องอบแห้งโดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยเครื่องอบแห้งประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาด 0.60x0.60x1.50 m³ อุปกรณ์ให้ความร้อนในระบบมี 2 ส่วนคือ ฮีตเตอร์อินฟราเรด 5 kW ซึ่งควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการปรับแรงดันไฟฟ้า และฮีตเตอร์แบบขดลวดความร้อนขนาด 15 kW พัดลมขนาด 0.37 kW และชุดสายพานลำเลียงมีพิกัดมอเตอร์ขนาด 1.5 kW โดยทำการทดลองเบื้องต้นด้วยการเดินเครื่องเปล่าเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายลมในห้องอบแห้งที่ความเร็วลมของอากาศแวดล้อม 0.5 - 2.0 m/s และเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 40 - 80°C ความเร็วลม 0.5 - 1.5 m/s กำลังอินฟราเรด 1.5 - 3.5 kW จากนั้นทำการทดสอบการอบโดยใช้อุณหภูมิลมร้อน 40 และ 80°C ความเร็วลม 1.0 m/s กำลังอินฟราเรด 2.5 kW เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง โดยทำการอบลำไยจากความชื้นเริ่มต้น 240 - 280% db. จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 18% พบว่าที่กำลังอินฟราเรด 2.5 kW อุณหภูมิลมร้อน 80°C ความเร็วลม 1.0 m/s ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าอุณหภูมิลมร้อน 40°C ที่กำลังอินฟราเรดและความเร็วลมเท่ากัน โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ค่าการสูญเสียความร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน

เจษฎา วิเศษมณี และคณะ [19] ได้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วลม และอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้งเมล็ดข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 โดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ทดลองมีเส้นผ่านศูนย์กลางเบด 20 ซม. สูง 100 ซม. ให้ความร้อนแก่อากาศโดยใช้ฮีตเตอร์ขนาด 5 kW และใช้เครื่องเป่าลมขนาด 1.25 กิโลวัตต์ ที่ความดัน 1,300 ปาสคาล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลอน

24 ซม. สูง 122 ซม. และใช้ท่อกลับวาล์วไนท์ท่อส่งลมขนาด 10.16 ซม. (4 นิ้ว) ความชื้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 500% (ความชื้นฐานแห้ง) ทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดครึ่งละ 300 g ที่อุณหภูมิอากาศ 70, 80 และ 90°C ใช้ความเร็วของอากาศในการอบแห้ง เท่ากับ 5.5, 6.5 และ 7.5 เมตรต่อวินาที จนมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 14-16% (ความชื้นฐานแห้ง) จากการทดลองพบว่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้ในอัตราการอบแห้งและอัตราการระเหยของไอน้ำเมื่ออุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้เพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งสูงสุดมีค่า 0.294 kg/hr ที่สภาวะความเร็วลม 7.5 m/s อุณหภูมิ 90°C และอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้สูงสุดมีค่า 0.06 kg/kWhr ที่สภาวะความเร็วลม 7.5 m/s อุณหภูมิ 70°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 การออกแบบห้องคว่ำกาแฟ โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน



ภาพที่ 3.1 การออกแบบห้องคว่ำกาแฟ โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

1. ท่อทางออกขนาด 3 นิ้ว
2. หลอดฮาโลเจน 1,000 วัตต์
3. ตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร ทำมุม 90°
4. ห้องคว่ำเมล็ดกาแฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 40 เซนติเมตร
5. ท่อทางเข้าขนาด 3 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 คอมพิวเตอร์ ใช้ในการออกแบบและจำลองข้อมูล



ภาพที่ 3.2 คอมพิวเตอร์

(ที่มา : <https://notebookspec.com/>)

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1. การจำลองการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วกาแฟ โดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว

1. จำลองอุณหภูมิทางเข้าที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส โดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วลมออกจากตะแกรง 4 เมตรต่อวินาที

2. จำลองอุณหภูมิทางเข้าที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส โดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วลมออกจากตะแกรง 6 เมตรต่อวินาที

3. จำลองอุณหภูมิทางเข้าที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส โดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วลมออกจากตะแกรง 8 เมตรต่อวินาที

กรณีที่ 2. การจำลองการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วกาแฟ โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

1. จำลองอุณหภูมิที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ความเร็วลมออกจากตะแกรง 4 เมตรต่อวินาที

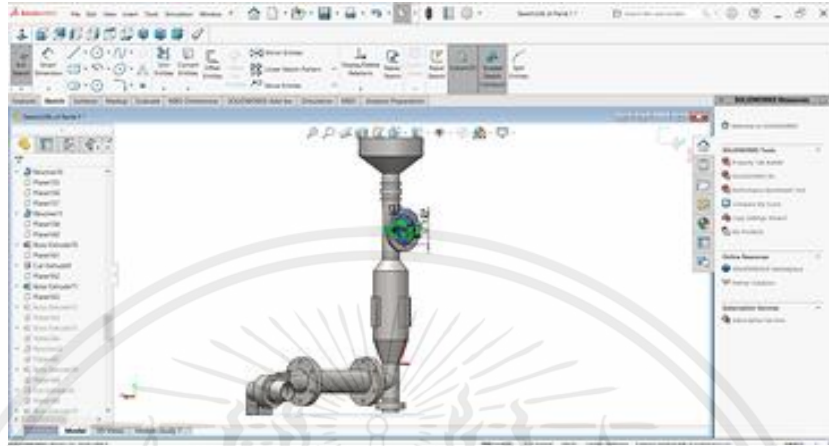
2. จำลองอุณหภูมิที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ความเร็วลมออกจากตะแกรง 6 เมตรต่อวินาที

3. จำลองอุณหภูมิที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส โดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ความเร็วลมออกจากตะแกรง 8 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

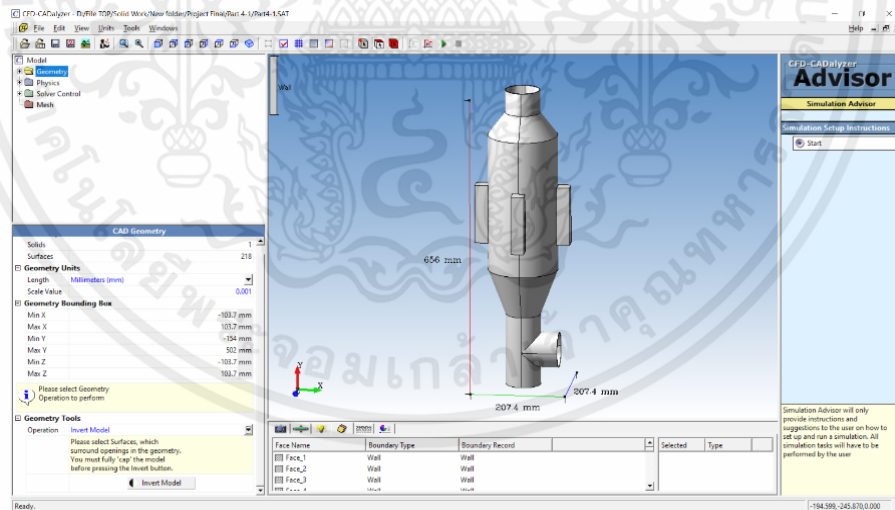
3.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1.1 ออกแบบและวาดแบบในโปรแกรม Solid work 2020 จากนั้น Save file เป็นนามสกุล .sat เพื่อใช้ในโปรแกรม CFD-CADalyzer



ภาพที่ 3.3 ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work 2020

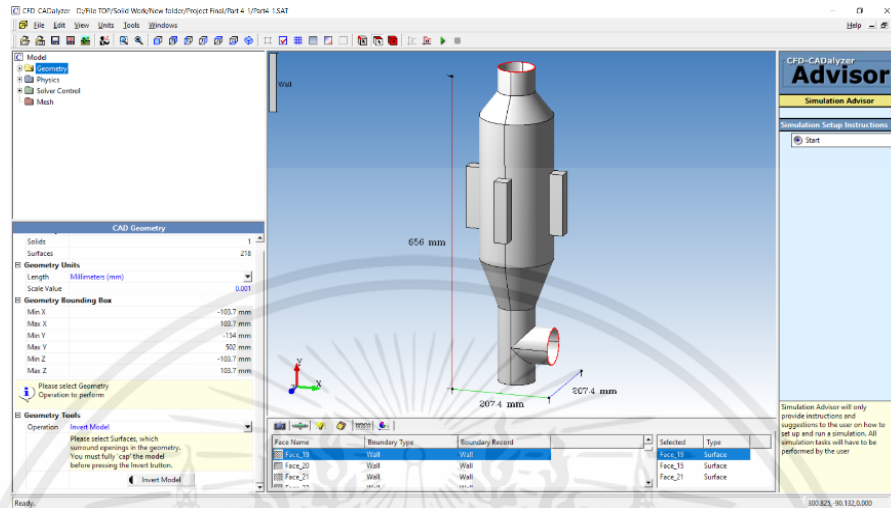
3.3.1.2 เปิดโปรแกรม CFD-CADalyzer จากนั้นเปิดไฟล์ที่บันทึกจากโปรแกรม Solid work 2020



ภาพที่ 3.4 เปิดแบบจำลอง

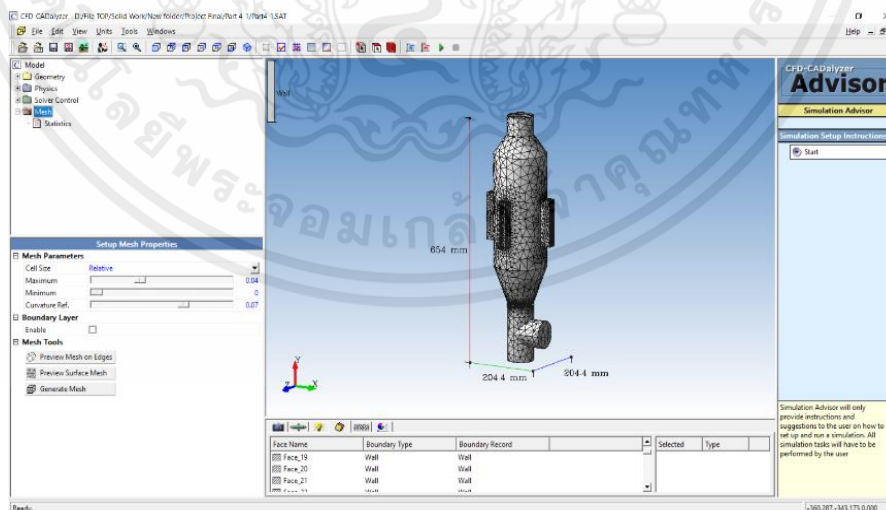
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 คลิกที่ Geometry แล้วเลือก Invert Model จากนั้นเลือกช่องทางเข้าและทางออกของอากาศ



ภาพที่ 3.5 กำหนดขอบเขตของปริมาตรภายใน

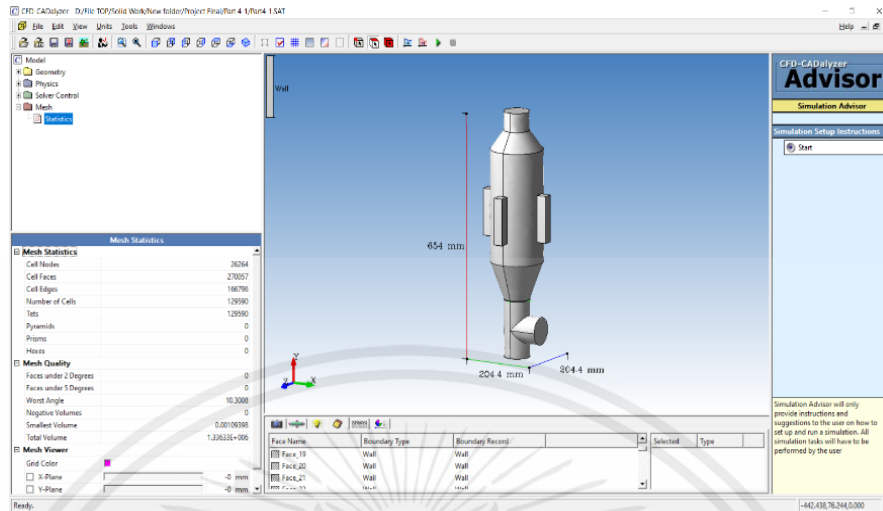
3.3.1.4 คลิกที่ Mesh แล้วเลือกขนาด Mesh จากนั้นคลิก Generate Mesh เพื่อเป็นการสร้าง Mesh และทำการบันทึกไฟล์



ภาพที่ 3.6 การปรับตั้งความละเอียดของกริด

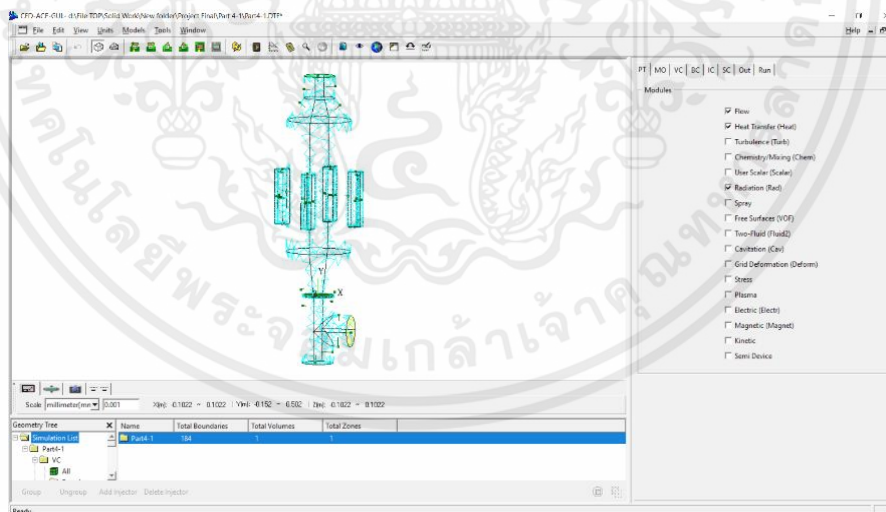
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.5 โดย cell ที่ได้มีทั้งหมด 137,658 cell



ภาพที่ 3.7 แสดงจำนวนเซลล์จากโปรแกรม CFD-CADalyzer

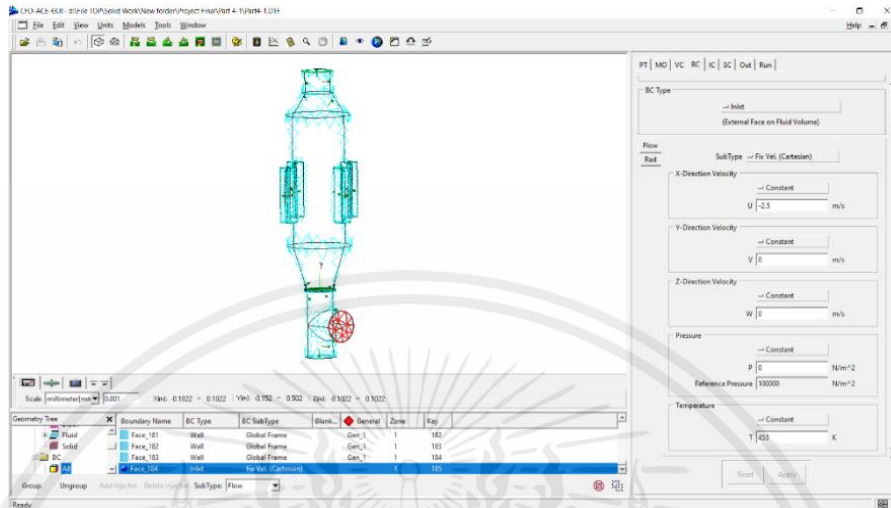
3.3.1.6 เปิดโปรแกรม CFD-ACE แล้วเปิดไฟล์ในโฟลเดอร์ที่บันทึกไว้จากโปรแกรม CFD-CADalyzer จากนั้นติ๊กหัวข้อที่ต้องการศึกษาต้องการ



ภาพที่ 3.8 เปิดแบบจำลองในโปรแกรม CFD-AC

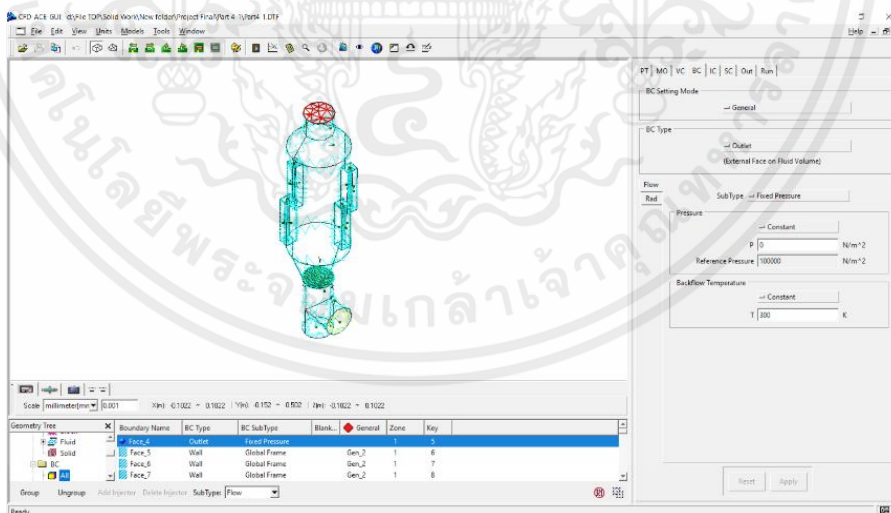
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.7 เลือกพื้นผิวช่องทางเข้าของอากาศ (Inlet) จากนั้นใส่ค่าความเร็วลมกับอุณหภูมิที่ต้องการจำลอง



ภาพที่ 3.9 กำหนดและตั้งค่าช่องทางเข้าของอากาศ (Inlet)

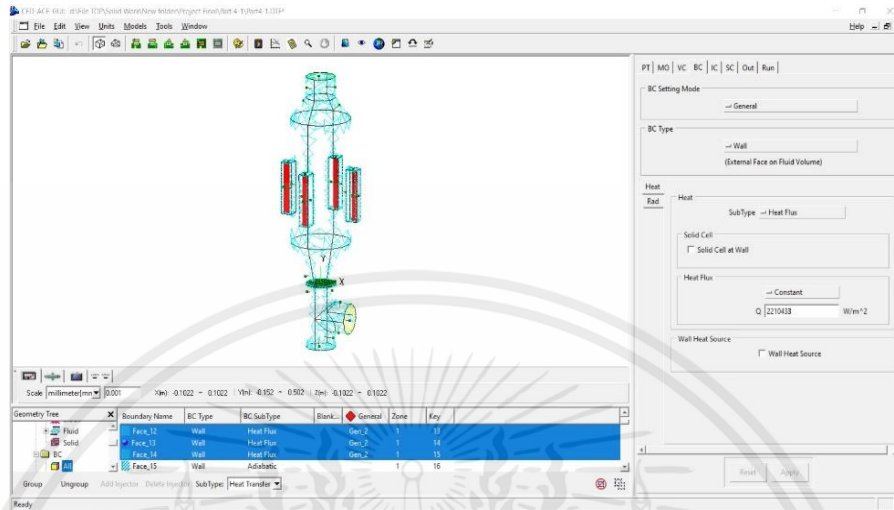
3.3.1.8 เลือกพื้นผิวช่องทางออกของอากาศเพื่อกำหนดให้เป็น (Outlet)



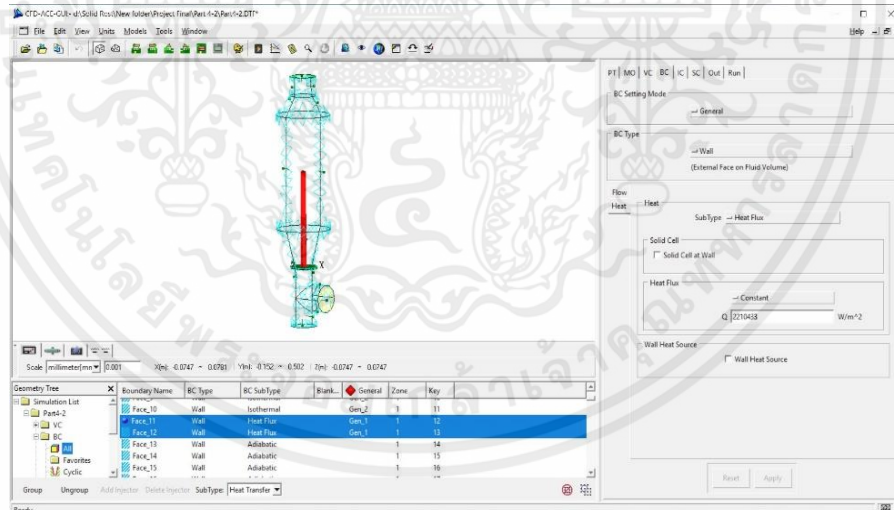
ภาพที่ 3.10 กำหนดและตั้งค่าช่องทางออกของอากาศ (Outlet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.9 เลือกกำหนดพื้นผิวในส่วนที่เป็นหลอดฮาโลเจนเพื่อใส่ค่า Heat flux สำหรับหลอดฮาโลเจน 1,000 วัตต์

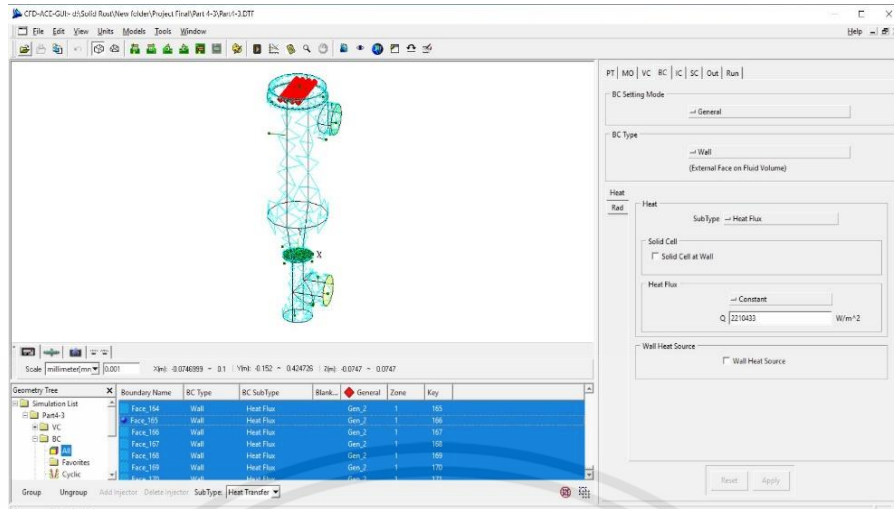


ภาพที่ 3.11 กำหนดและตั้งค่าหลอดฮาโลเจนสำหรับตำแหน่งติดตั้ง 4 มุม รอบห้องแก้ว



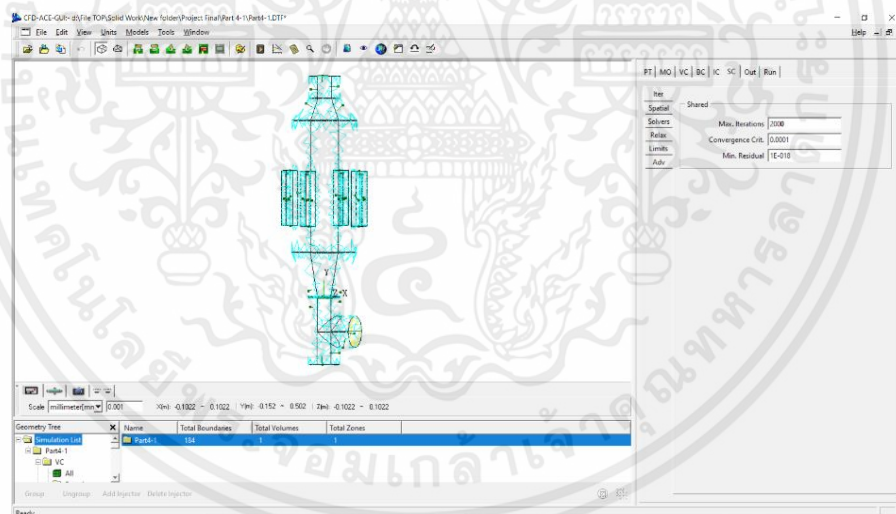
ภาพที่ 3.12 กำหนดและตั้งค่าหลอดฮาโลเจนสำหรับตำแหน่งติดตั้งตรงกลางของห้องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 กำหนดและตั้งค่าโหลดฮาโลเจนสำหรับตำแหน่งติดตั้งด้านบนของห้องคั่ว

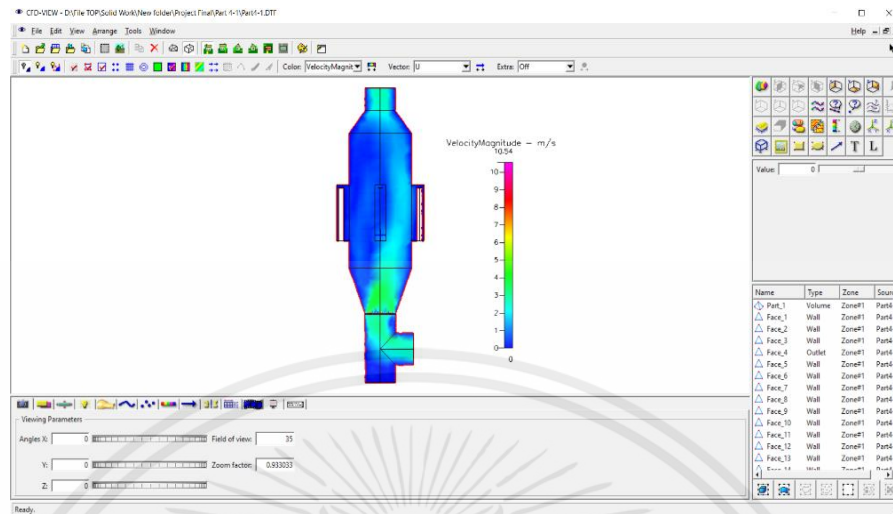
3.3.1.10 กำหนดค่าจำนวนทำซ้ำ โดยจะกำหนดค่าประมาณ 1500-2000 ซ้ำ



ภาพที่ 3.14 กำหนดจำนวนการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.13 เปิดโปรแกรม CFD-VIEW จากนั้นทำการ Import File



ภาพที่ 3.15 แสดงผลลัพธ์การจำลองในโปรแกรม CFD-VIEW

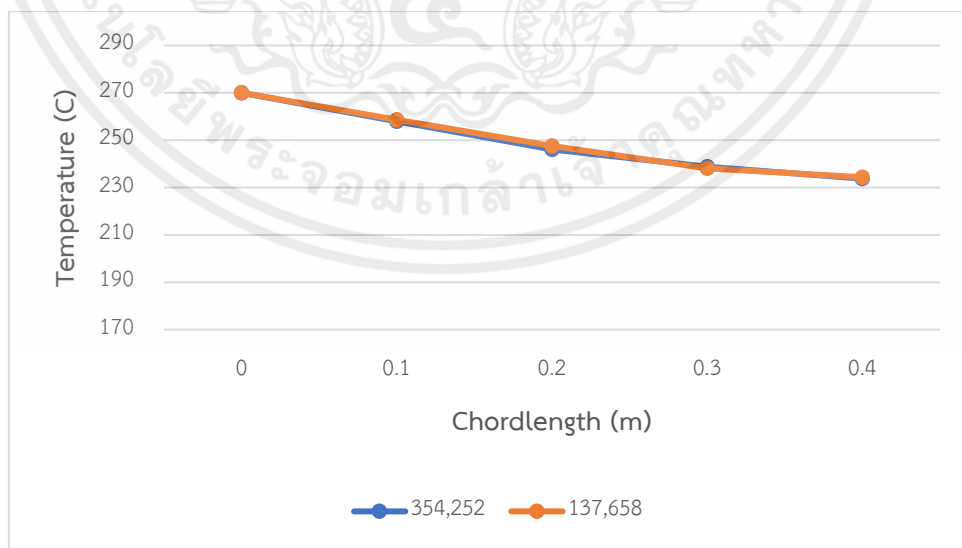
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

เนื่องจากผลการทดลองนี้ไม่มีผลการทดลองจริงมารองรับ ซึ่งคุณภาพกริดคือหนึ่งในปัจจัยที่งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญอย่างมาก เพราะจะทำให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์ของการจำลองมีความถูกต้อง การทำกริดที่มีคุณภาพนั้นไม่ใช่แค่ทำกริดมีความละเอียดสูงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากทรัพยากรคอมพิวเตอร์มีจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้คุณภาพและจำนวนกริดมีความสมดุลกัน โดยทำการศึกษากฎอิสระเพื่อทำการศึกษาว่าที่จำนวนกริดเท่าไรที่ไม่ทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีนัยสำคัญ แม้ว่าจากตามทฤษฎีค่าความละเอียดของกริดที่มากขึ้น จะทำให้ผลเฉลยของคำตอบนั้นใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด แต่เนื่องจากได้มีข้อจำกัดที่เกี่ยวกับเรื่องคอมพิวเตอร์และเรื่องระยะเวลาในการประมวลผล ซึ่งถ้าหากใช้จำนวนกริดที่เพิ่มมากขึ้นก็จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลมากขึ้นเช่นกัน [5, 20]

จากการทำการศึกษากฎอิสระทำให้ได้ค่ากริดอิสระที่ 137,658 เซลล์ พบว่าจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่ว พบว่าที่จำนวนกริดที่ได้ทำการศึกษา แสดงผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากที่จำนวนกริดเซลล์ 354,252 เซลล์และเพื่อให้ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับความจริงที่สุดจึงทำการกำหนดค่าความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.184 kg/m^3 และค่าความหนืดของอากาศเท่ากับ $1.86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะของห้องคั่วที่จำนวนกริด

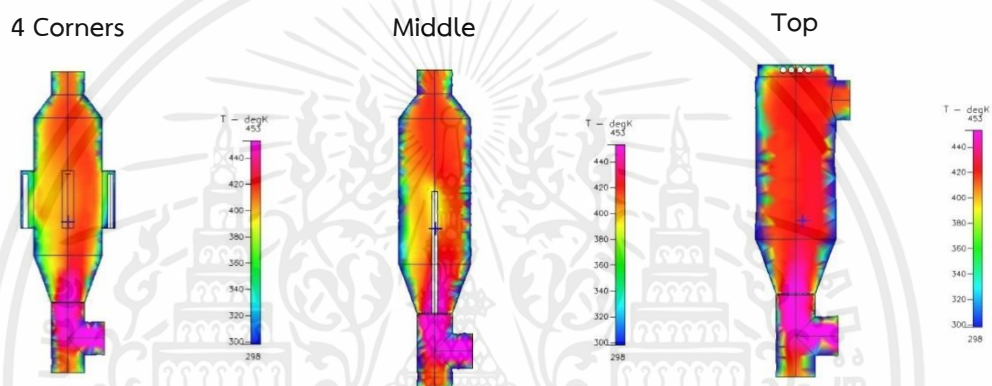
แต่ละความละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

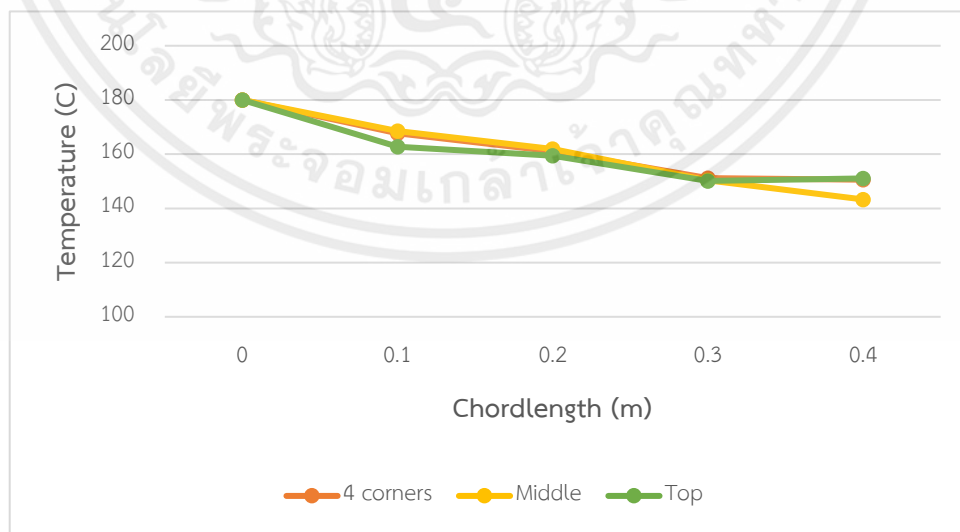
4.1 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วลม 4 m/s

4.1.1 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 180°C

จากภาพที่ 4.2 และ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 180°C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 157.63°C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 156.01°C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 155.82°C



ภาพที่ 4.2 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180°C

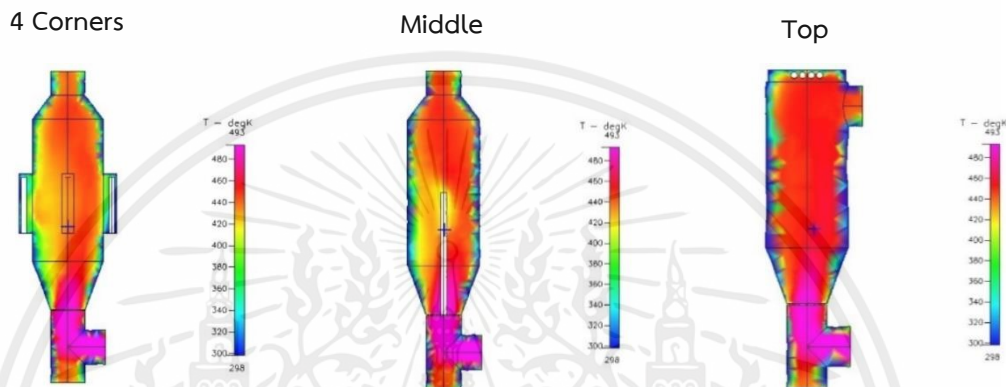


ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180°C

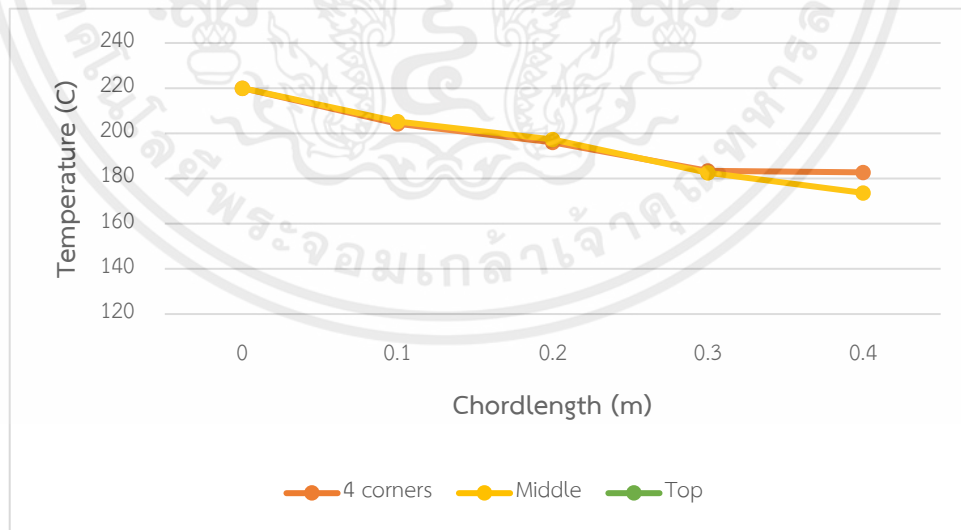
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 220 °C

จากภาพที่ 4.4 และ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 220 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 191.59 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 189.67 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 189.64 °C



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220 °C

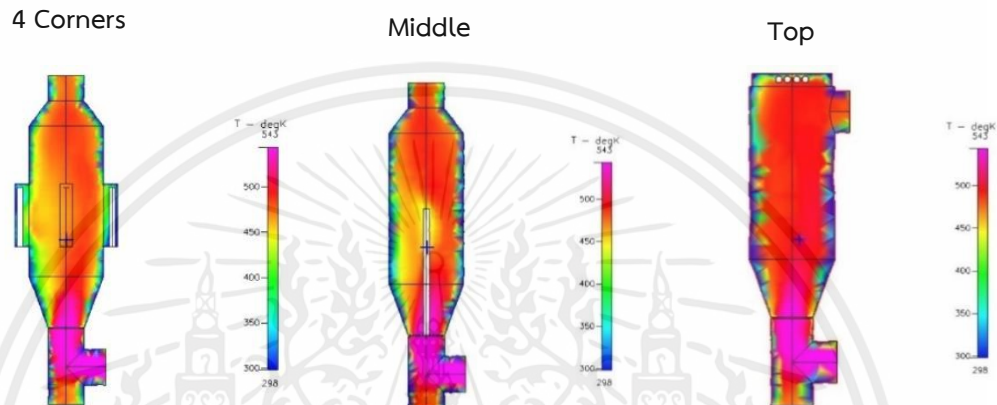


ภาพที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220 °C

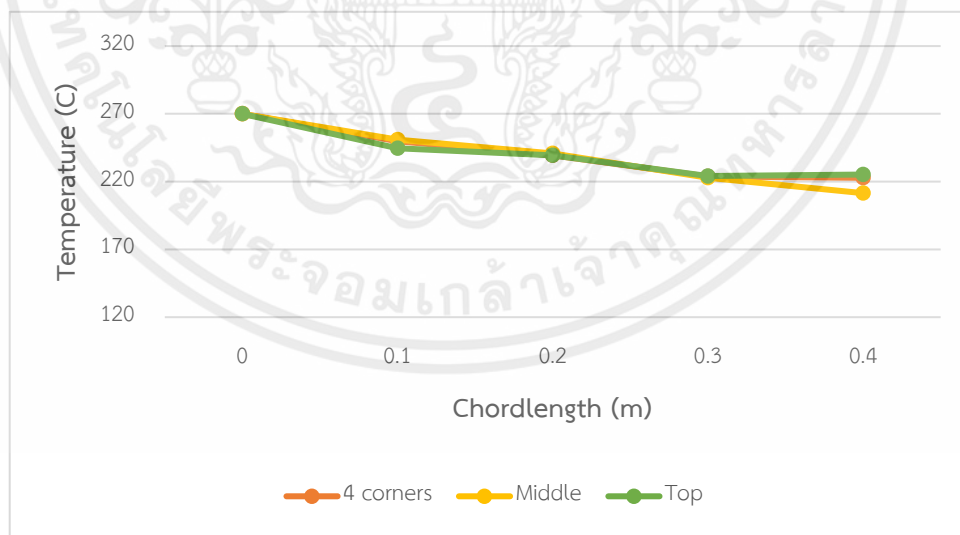
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 270 °C

จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 270 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 233.93 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 231.54 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 231.58 °C



ภาพที่ 4.6 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วที่ 1 โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270 °C



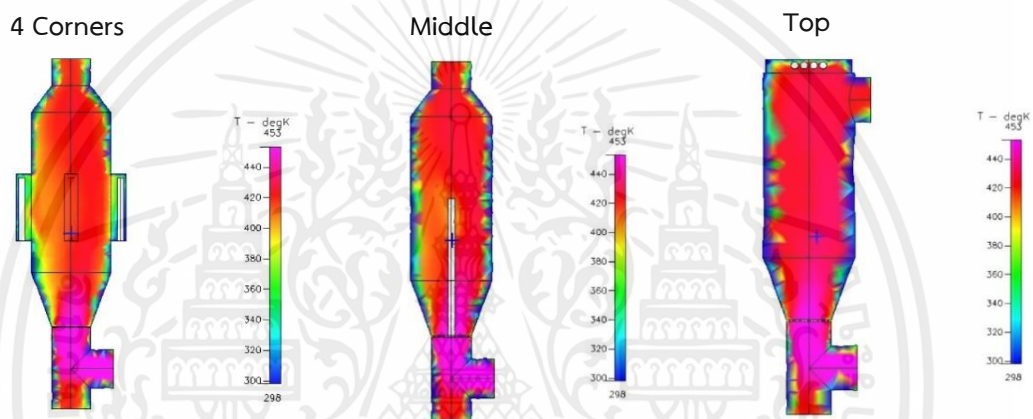
ภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

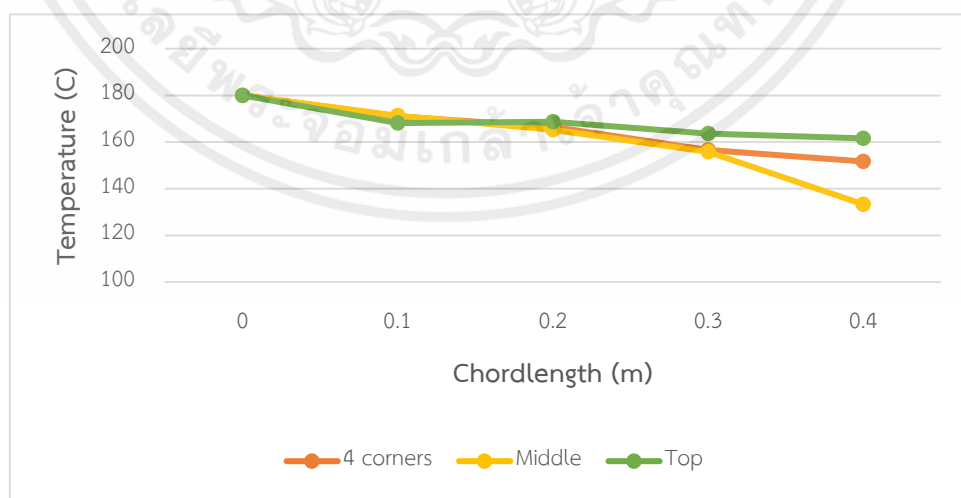
4.2 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วลม 6 m/s

4.2.1 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 180 °C

จากภาพที่ 4.8 และ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 180 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 161.44 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 156.44 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 162.87 °C



ภาพที่ 4.8 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180 °C

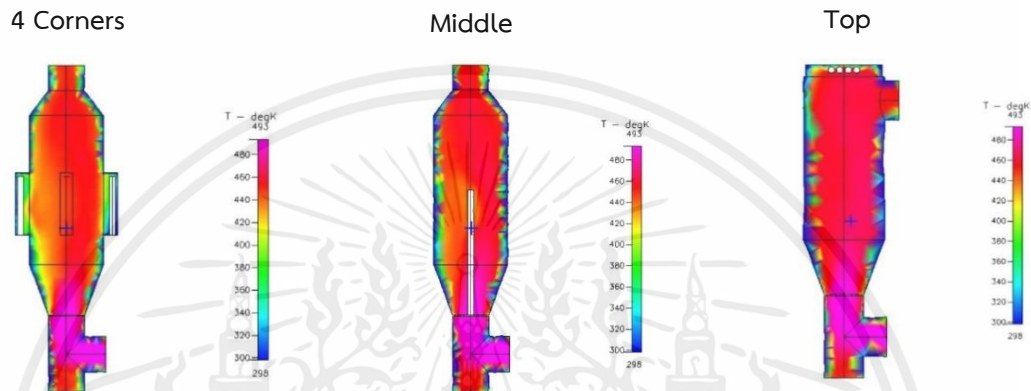


ภาพที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 °C

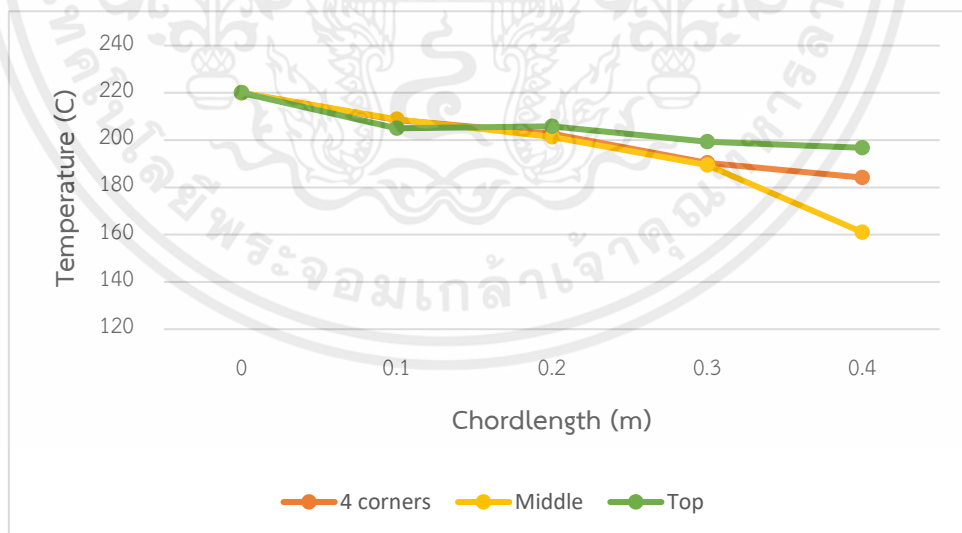
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 220 °C

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 220 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 196.44 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 190.17 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 197.96 °C



ภาพที่ 4.10 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220 °C

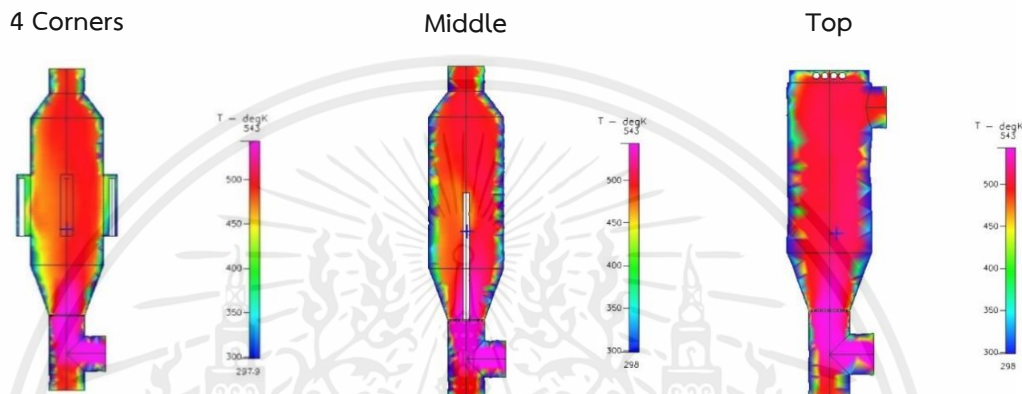


ภาพที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220 °C

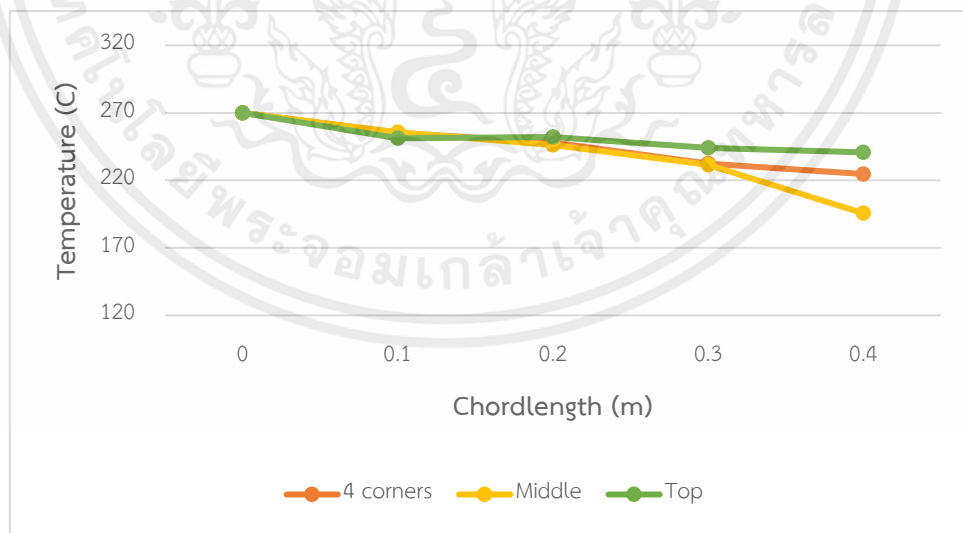
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 270 °C

จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 270 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 240.11 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 232.27 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 242.04 °C



ภาพที่ 4.12 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270 °C



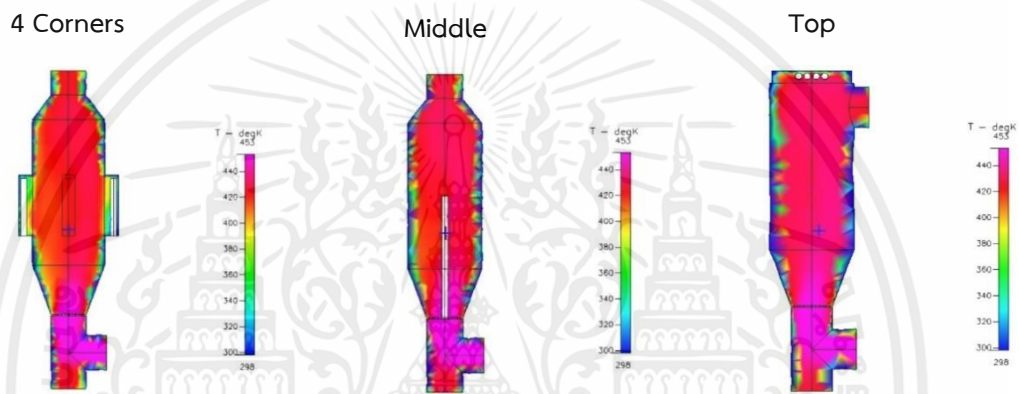
ภาพที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

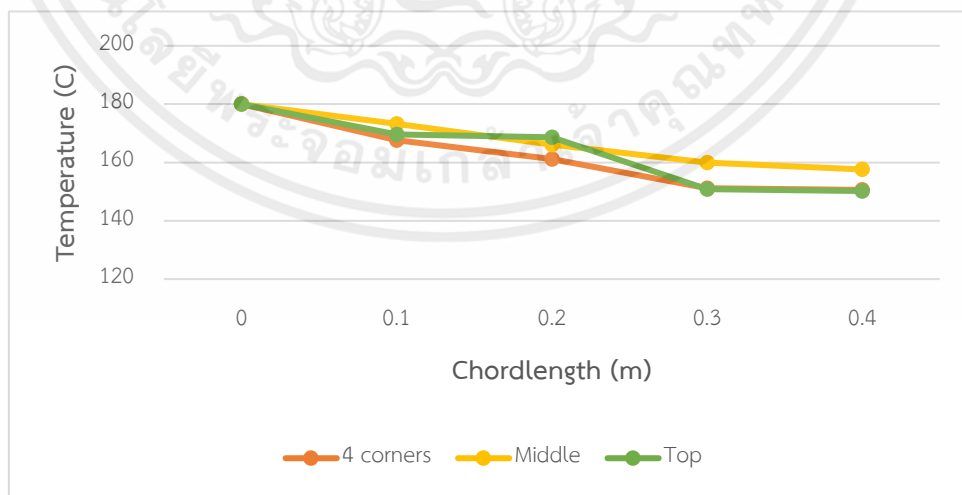
4.3 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ ความเร็วลม 8 m/s

4.3.1 การจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 180°C

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 180°C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 157.63°C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 162.56°C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 159.46°C



ภาพที่ 4.14 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180°C

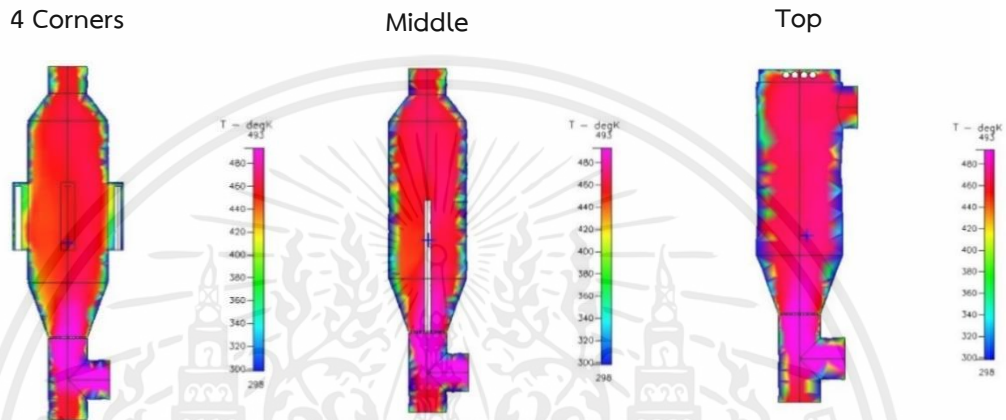


ภาพที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180°C

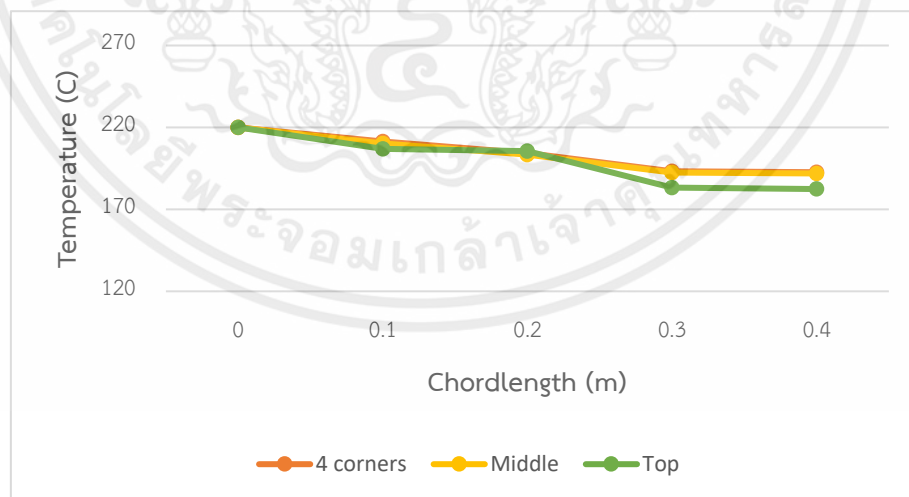
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 220°C

จากภาพที่ 4.16 และ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 220°C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 199.69°C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 197.95°C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 193.98°C



ภาพที่ 4.16 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220°C

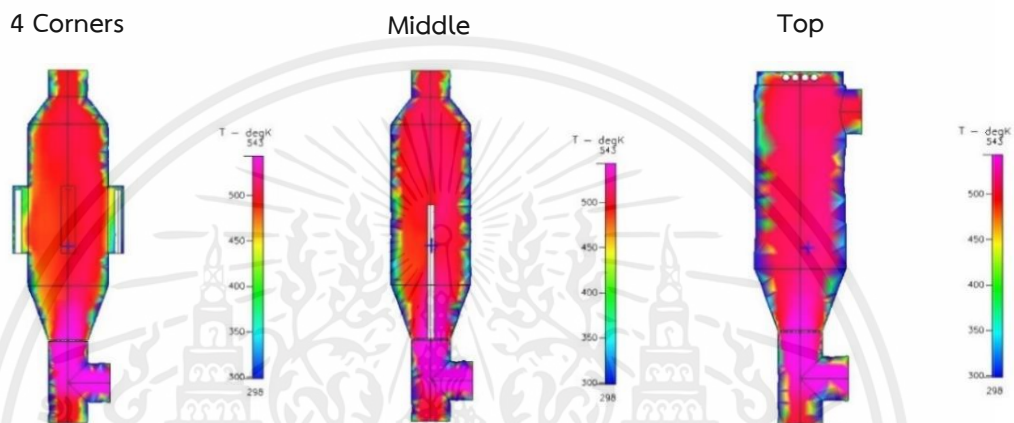


ภาพที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220°C

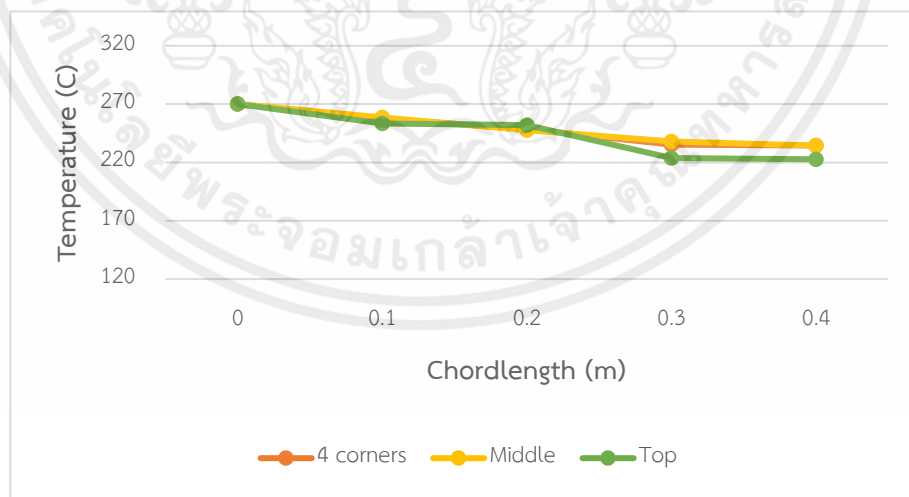
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 270°C

จากภาพที่ 4.18 และ 4.19 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 270°C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 244.02°C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 243.18°C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 237.14°C



ภาพที่ 4.18 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270°C



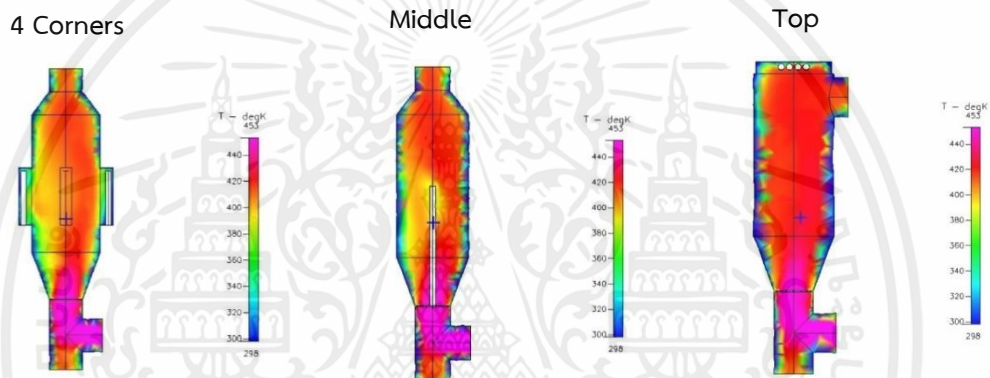
ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

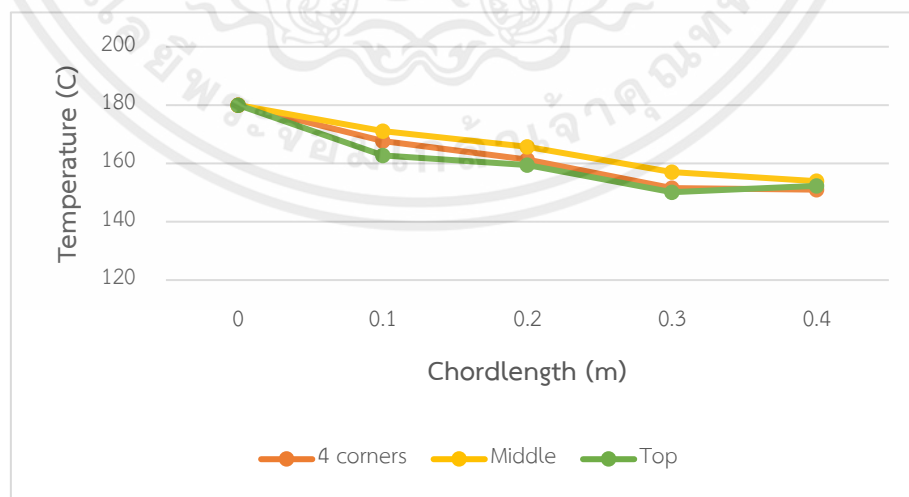
4.4 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่มีความเร็วลม 4 m/s

4.4.1 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 180 °C

จากภาพที่ 4.20 และ 4.21 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 180 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 157.88 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 161.92 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 156.14 °C



ภาพที่ 4.20 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220 °C

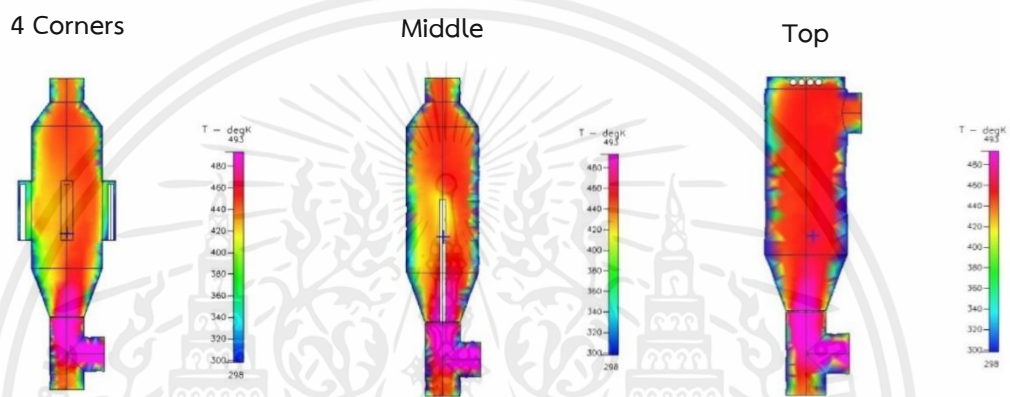


ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270 °C

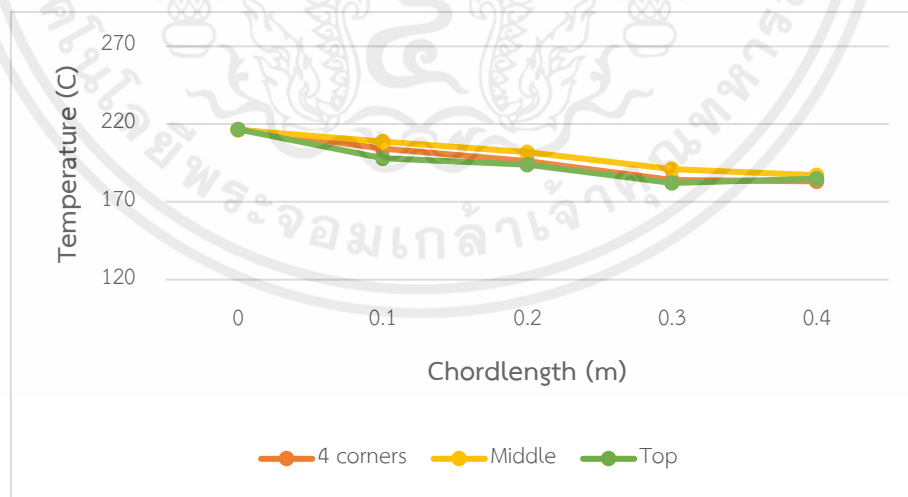
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 220 °C

จากภาพที่ 4.22 และ 4.23 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 220 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 191.91 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 197.24 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 191.02 °C



ภาพที่ 4.22 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220 °C

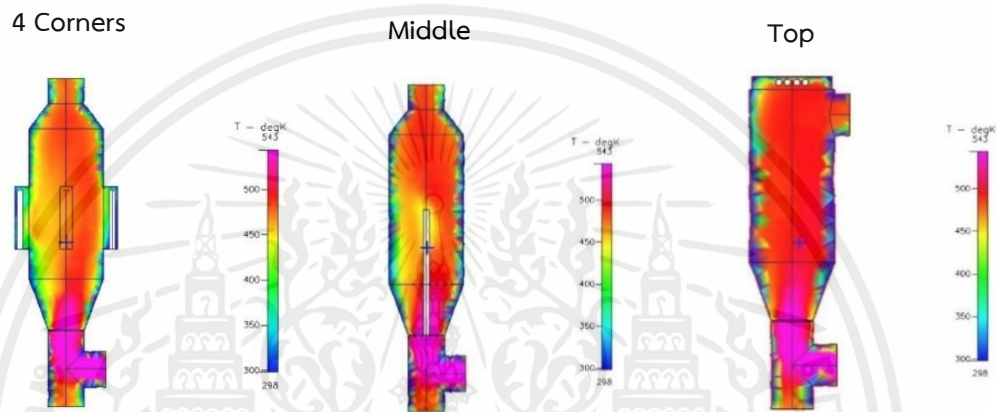


ภาพที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220 °C

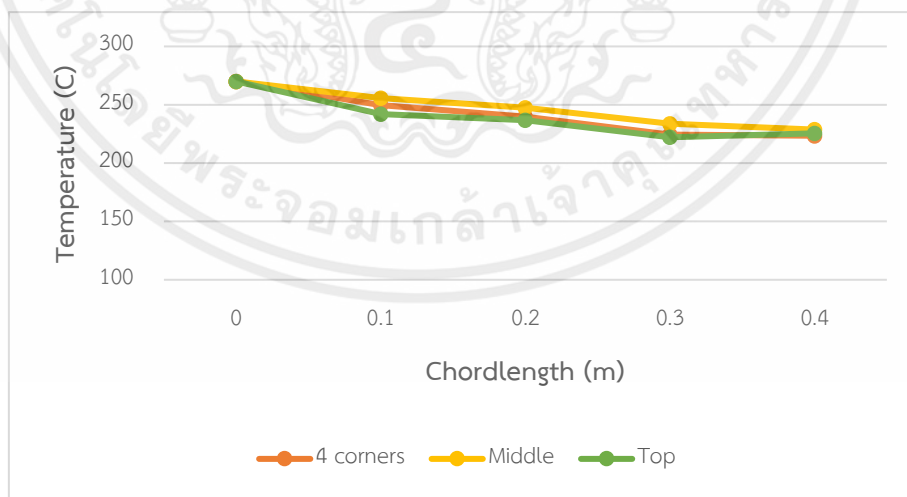
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 270 °C

จากภาพที่ 4.24 และ 4.25 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 270 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 234.31 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 241.39 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 233.43 °C



ภาพที่ 4.24 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่วที่ 1 โดยมีความเร็ว 4 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270 °C



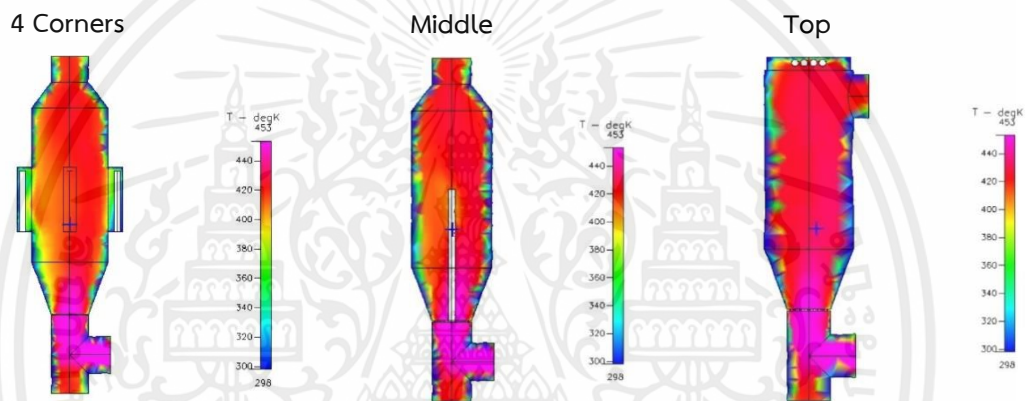
ภาพที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 4 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

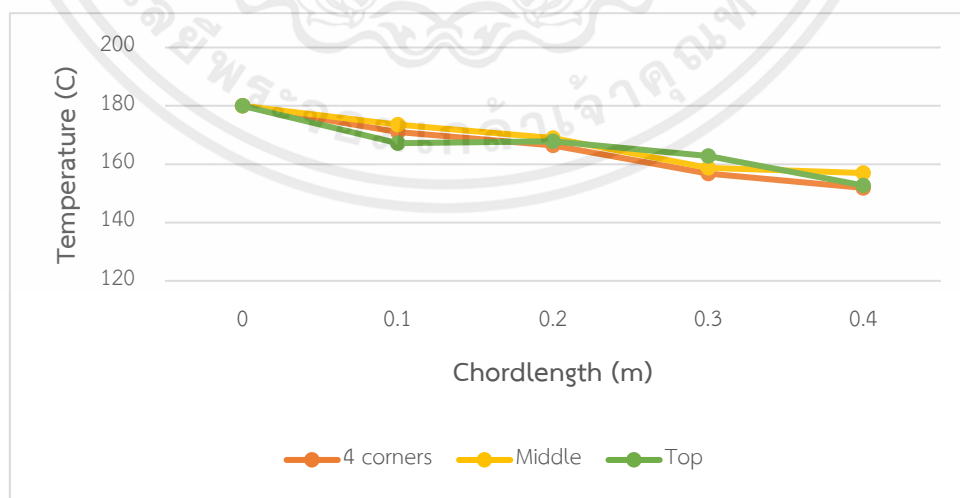
4.5 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่มีความเร็วลม 6 m/s

4.5.1 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 180 °C

จากภาพที่ 4.26 และ 4.27 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 180 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 161.55 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 164.56 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 165.51 °C



ภาพที่ 4.26 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180 °C

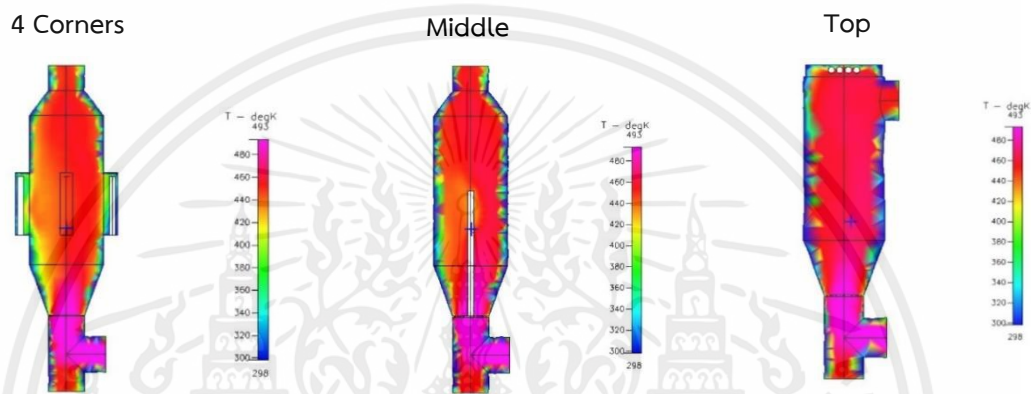


ภาพที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 °C

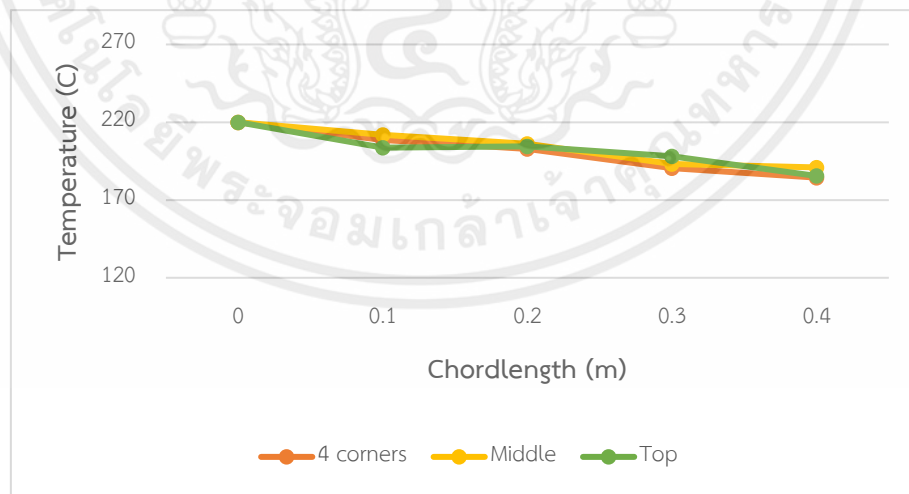
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 220 °C

จากภาพที่ 4.28 และ 4.29 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 220 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 196.57 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 200.52 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 201.72 °C



ภาพที่ 4.28 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220 °C

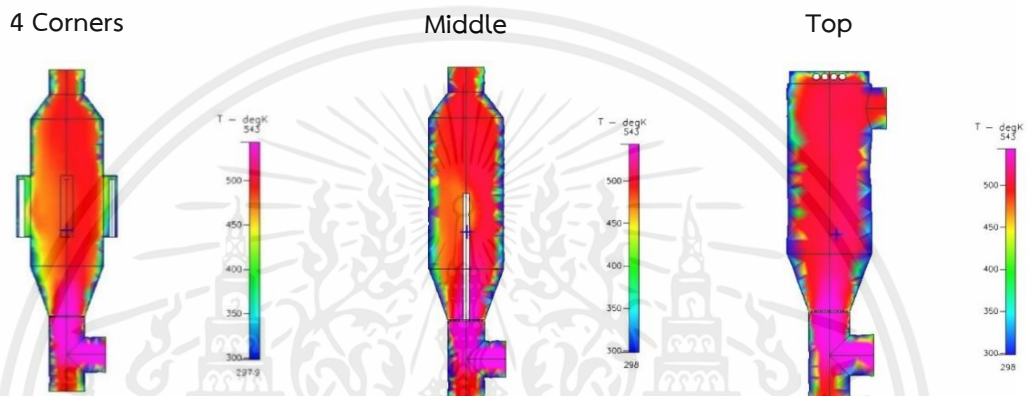


ภาพที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220 °C

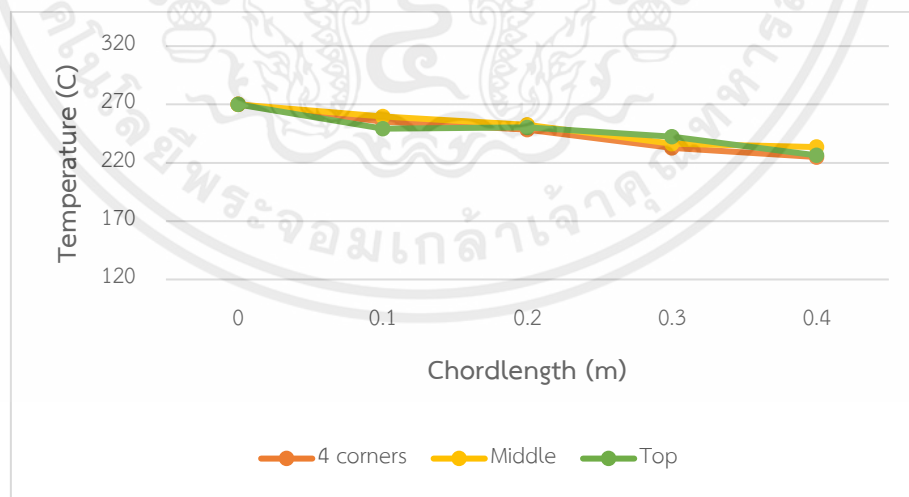
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 270 °C

จากภาพที่ 4.30 และ 4.31 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 270 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 240.32 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 245.51 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 246.98 °C



ภาพที่ 4.30 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 6 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270 °C



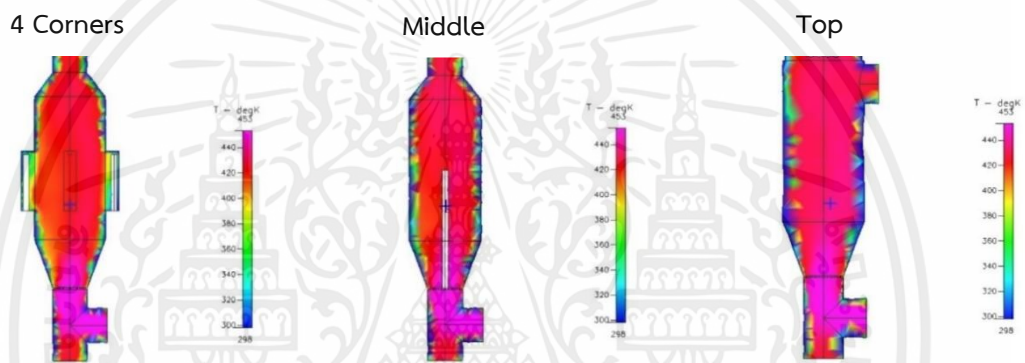
ภาพที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 6 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 270 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

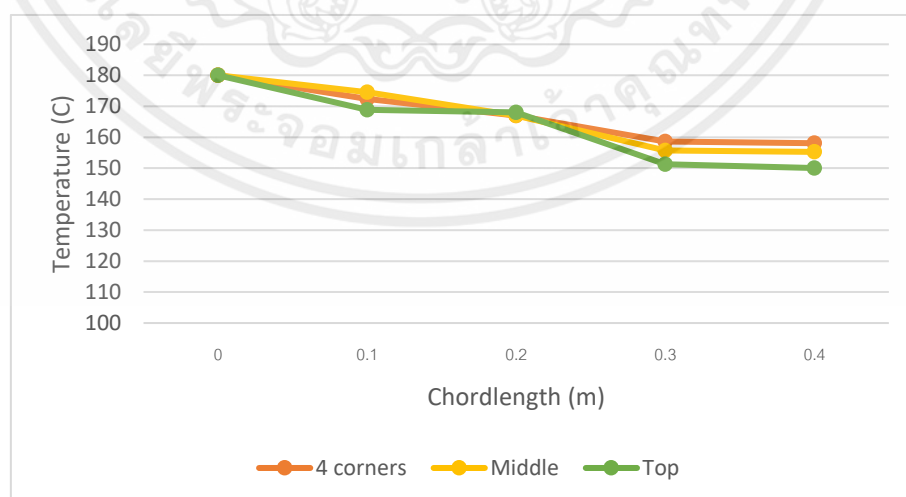
4.6 การจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่มีความเร็วลม 8 m/s

4.6.1 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 180 °C

จากภาพที่ 4.32 และ 4.33 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 180 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 164.01 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 164.76 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 159.91 °C



ภาพที่ 4.32 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 180 °C

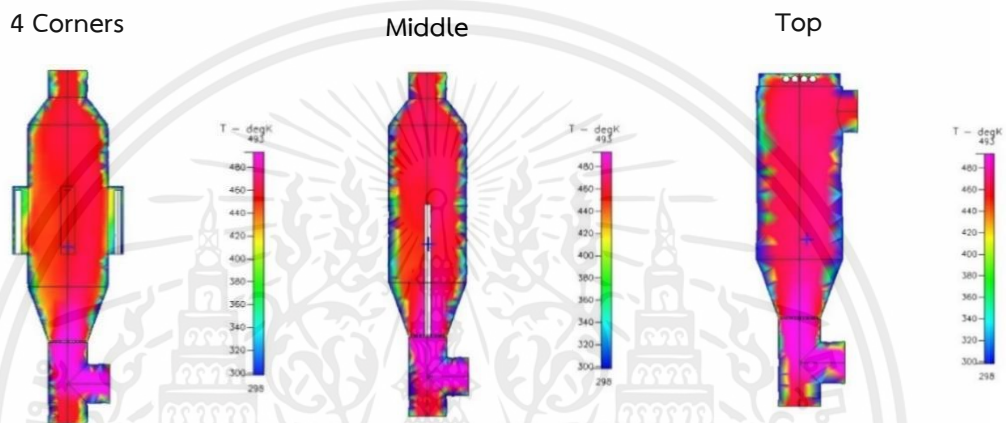


ภาพที่ 4.33 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 °C

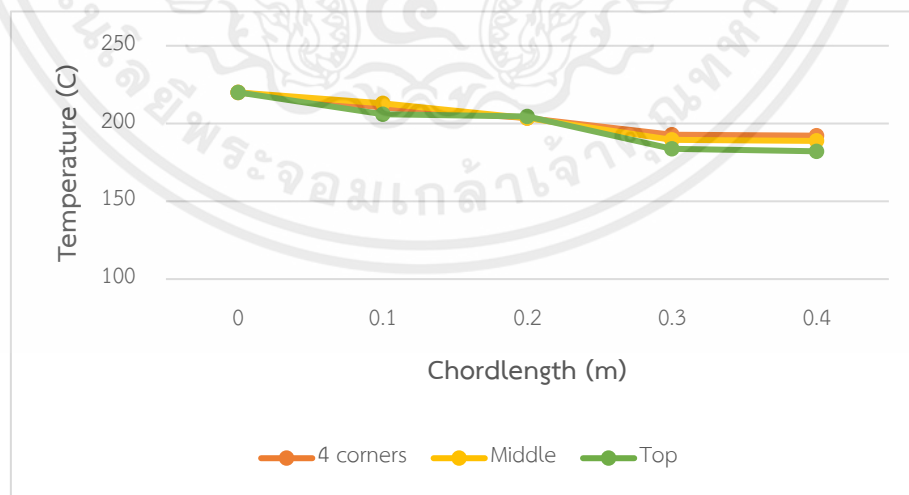
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 220 °C

จากภาพที่ 4.34 และ 4.35 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 220 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 200.43 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 200.26 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 194.64 °C



ภาพที่ 4.34 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 220 °C

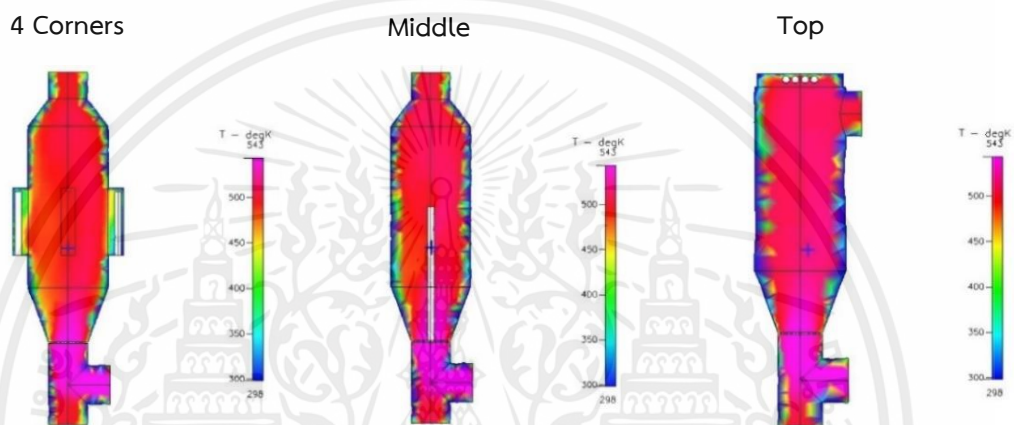


ภาพที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิขาเข้า 220 °C

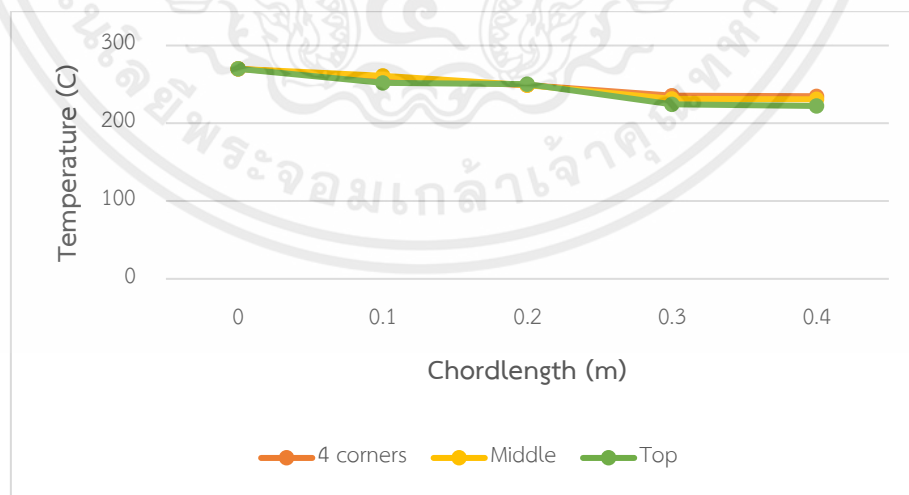
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การจำลองการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 270 °C

จากภาพที่ 4.36 และ 4.37 เป็นการเปรียบเทียบการจำลองการถ่ายเทอุณหภูมิที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขาเข้าที่ 270 °C โดยเป็นการกระจายอุณหภูมิด้วยการเปิดลมร้อนและหลอดฮาโลเจนพร้อมกัน โดยผลที่ได้คือ ภายในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ 4 มุม รอบห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 244.25 °C ห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ตรงกลางภายในห้องคั่วมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 244.67 °C และห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยที่ 239.05 °C



ภาพที่ 4.36 แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว 4 Corners, Middle, Top โดยมีความเร็ว 8 m/s และมีอุณหภูมิขาเข้า 270 °C



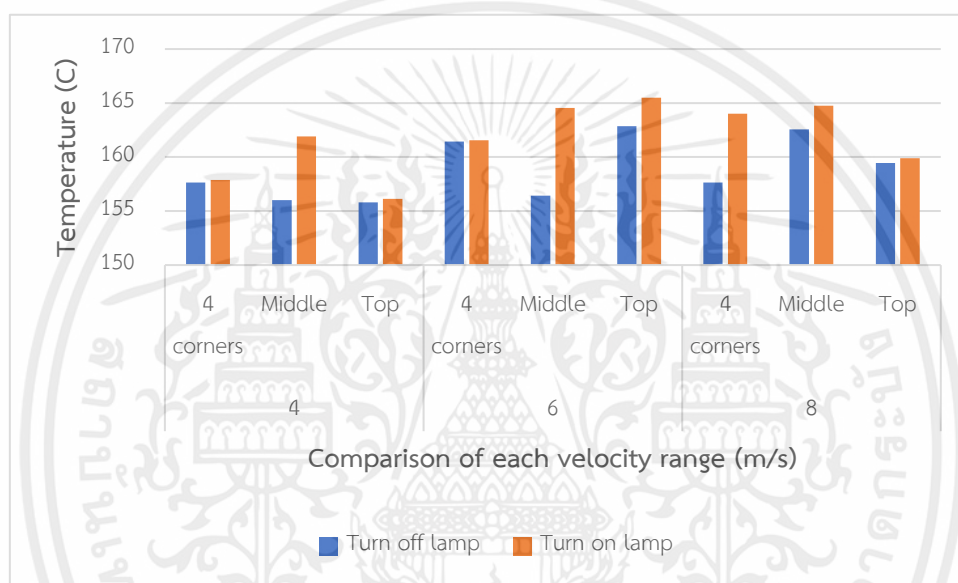
ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ความเร็ว 8 m/s ที่อุณหภูมิ ขาเข้า 270 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวกับการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

4.7.1 การเปรียบเทียบการกระจายที่อุณหภูมิ 180°C

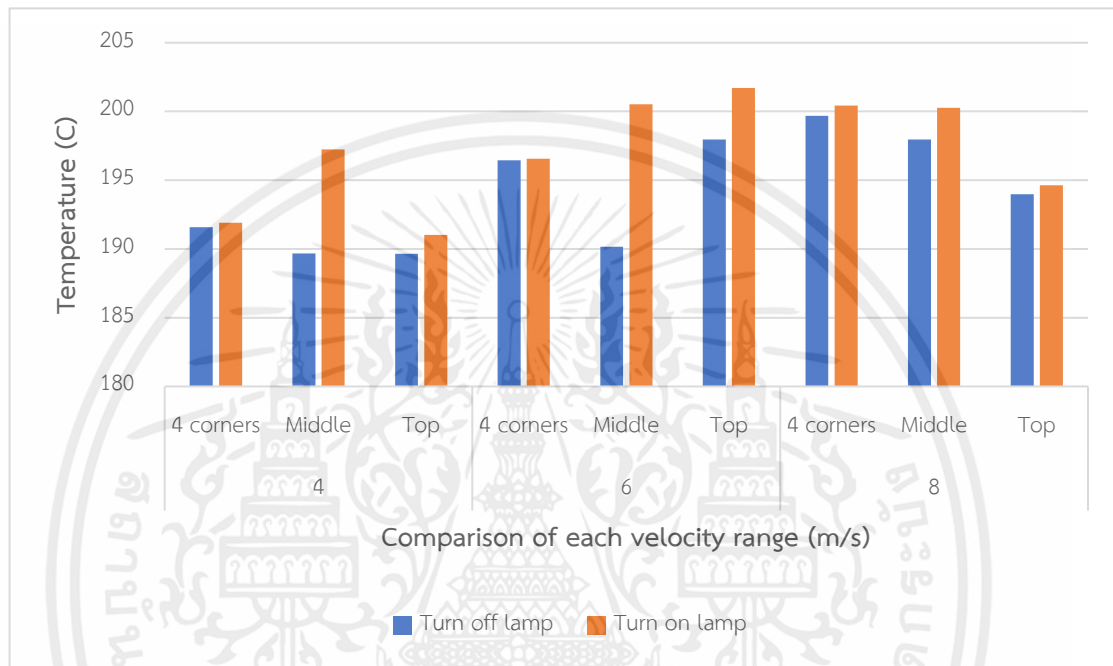
จากภาพที่ 4.38 เป็นการนำค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในห้องคั่วที่อุณหภูมิ 180°C ของแต่ละช่วงความเร็วมาเปรียบเทียบกันพบว่าความเร็วมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4.38 แผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว ที่อุณหภูมิ 180°C ความเร็วลม 4, 6 และ 8 m/s

4.7.2 การเปรียบเทียบการกระจายที่อุณหภูมิ 220°C

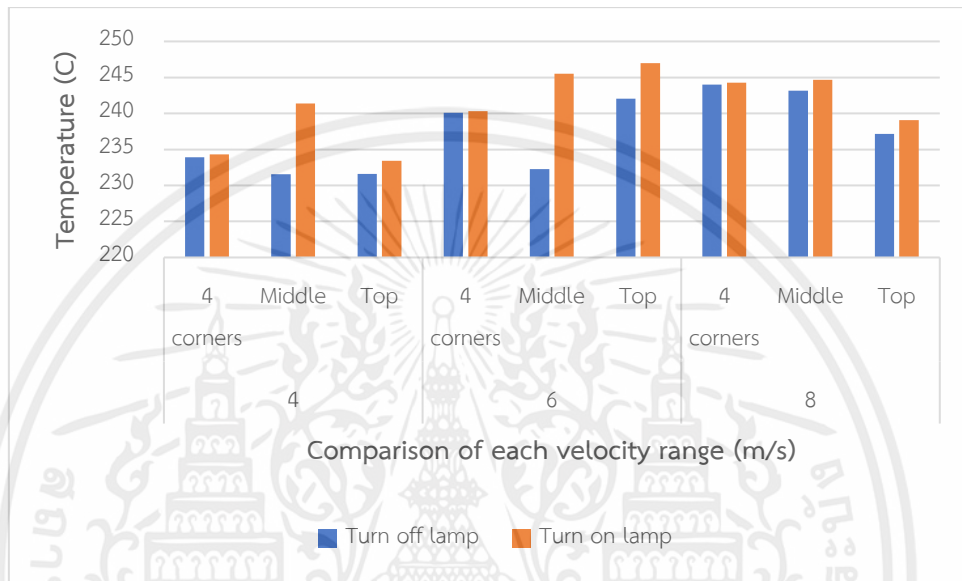
จากภาพที่ 4.39 เป็นการนำค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในห้องคั่วที่อุณหภูมิ 220°C ของแต่ละช่วงความเร็วมาเปรียบเทียบกันพบว่าความเร็วมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4.39 แผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว ที่อุณหภูมิ 220°C ความเร็วลม 4, 6 และ 8 m/s

4.7.3 การเปรียบเทียบการกระจายที่อุณหภูมิ 270°C

จากภาพที่ 4.40 เป็นการนำค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในห้องคั่วที่อุณหภูมิ 270°C ของแต่ละช่วงความเร็วมาเปรียบเทียบกันพบว่าความเร็วมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4.40 แผนภูมิเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องคั่ว ที่อุณหภูมิ 270°C ความเร็วลม 4, 6 และ 8 m/s

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการจำลองการแพร่กระจายอุณหภูมิของห้องคั่วกาแฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนโดยมีความเร็วที่ 4 6 และ 8 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิที่ทางเข้าที่ 180 220 และ 270 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ดังนี้

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน ที่มีการไหลเวียนของอากาศจากการจำลองด้วย CFD โดยความเร็วลมที่ใช้คือ 4, 6 และ 8 เมตรต่อวินาที โดยมีอุณหภูมิที่ทางเข้าที่ 180, 220 และ 270 องศาเซลเซียส และการติดตั้งหลอดฮาโลเจน 1000 วัตต์ โดยติดตั้งไว้ด้านบนฝาของห้องคั่ว, ติดตั้งไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกของห้องคั่ว และติดตั้งไว้ตรงกลางของห้องคั่วผลที่ได้ภายในห้องคั่วต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 150, 200 และ 220 องศาเซลเซียส เรียงลำดับตามอุณหภูมิที่ทางเข้า

จากการจำลองด้วย CFD จะเห็นได้ว่าการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนให้อุณหภูมิที่สูงกว่าการกระจายอุณหภูมิด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวและจากช่วงความเร็วและอุณหภูมิที่ทำการกำหนดขอบเขตไว้ผลจากการเปรียบเทียบได้ข้อสรุปว่าลักษณะของห้องคั่วที่มีการกระจายอุณหภูมิภายในห้องคั่วได้ดีที่สุดคือห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดฮาโลเจนไว้ด้านบนของห้องคั่วที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายอุณหภูมิในห้องคั่วเพิ่มเติมเพื่อให้การจำลองดีขึ้นมากกว่าเดิมควรแก้ไข ดังนี้

1. ศึกษาและเพิ่มการจำลองวัสดุพูนที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับเมล็ดกาแฟ
2. เพิ่มความละเอียดของเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง
3. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการช่วยคำนวณควรมีหน่วยความจำปริมาณมากเพื่อประหยัดเวลา

ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิระพงศ์กัทลี และ เซาว์ อินทร์ประสิทธิ์. (2546). **คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว**. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9
- [2] ณัฏฐิมา สุขเสวีียด. (2013). **การผลิตและการตลาดกาแฟของเกษตรกรในจังหวัดชุมพร**. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ. 2555.
- [3] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น, ณรงค์ เครือกันทา และพงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิติกร. (2012). **การสร้างเครื่องอบแห้ง เมล็ดกาแฟพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน สำหรับเกษตรกรบ้านใหม่พัฒนา**. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 5 ฉบับที่ 1.
- [4] ร้อยทิศ ญาติเจริญ และ วัชรินทร์ ดงบัง. (2015). **การอบแห้งถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบถ้งหมุน**.
- [5] ภัทรฤทัย คำแสง. (2558). **การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [6] อิศเรศ วรรณทร. (2554). **การศึกษาการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพรมในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล**. ปริญญาานิพนธ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [7] V.D. Nagaraju, K. Ramalakshmi, B.S Sridhar. (2016). **Cryo assisted spouted bed roasting of coffee beans**. Innovative Food Science & Emerging Technologies, Pages 138-144.
- [8] ปรีดา ปรากูมมาก. (2562). **แบบจำลอง CFD-DEM ของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันสำหรับตัวกลางก๊าซ-ของแข็ง**. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย บทความวิจัยปีที่ 25 ฉบับที่ 1 (2562) 19-27.
- [9] บลูคอฟฟ์ โช่วร์ม. (2015). **ประเภทของเครื่องคั่วกาแฟ**. เข้าถึงเมื่อ 9 เมษายน 2566 เข้าถึง จาก <https://www.bluekoff.com/Article.aspx?m=view&cat=0&id=107>
- [10] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์, ณัฐพล แสนคำวงศ์, รณชัย โคตรสาขา และ อุเทน สุวิชา. (2553). **ผลของน้ำหนักของวัสดุที่มีต่อการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน**. โครงการประชุมวิชาการและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 1 ประจำปี 2553 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.

- [11] พชรินทร์ ตาด่วง และวีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล. (2555). **การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด**. ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. จังหวัดเชียงใหม่.
- [12] อีลีหัยะ สนิโซ และ ลุตฟี สือนิ. (2563). **การพัฒนาระบบผลิตข้าวหนึ่งด้วยเทคนิคฟลูอิดไซ์เบดร่วมกับรังสีอินฟราเรด**. เข้าถึงเมื่อ 9 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://wb.yru.ac.th/>.
- [13] ณัฐวุฒิ ชมโลก, ปองพล บุญถนอม และ วริศ พนาสุวรรณ์รัตน์. (2559). **เครื่องทดสอบความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์ชันของเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.
- [14] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2565). **หลอดฮาโลเจน**. เข้าถึงเมื่อ 16 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/หลอดฮาโลเจน>.
- [15] ครูตุง. (2560). **หลอดทังสแตน**. เข้าถึงเมื่อ 20 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://elearnkrutung.blogspot.com/2017/03/tungstan-lamp.html>
- [16] สราวุฒิ ดาแก้ว, ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา, พรพิชญ์ ธรรมปัทม์, ศนันธร พิชัย, ปาริชาติ ราชมณี, ญาณิศา โพธิ์รัตน์โส. (2560). **การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม รังสีอินฟราเรดและลมร้อน**. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- [17] S.A.J.I. (THAILAND) CO.,LTD. (2020). **ฮีตเตอร์(Heater)**. เข้าถึงเมื่อ 17 เมษายน 2566 เข้าถึงจาก <https://sa-thai.com/ฮีตเตอร์/>.
- [18] กิตติชัย สุคำมา. (2553). **การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนขนาดห้องปฏิบัติการ**. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [19] เจษฎา วิเศษมณี และสำรวม โกศลานันท์. (2004). **อิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวโพดหวานด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอินเทอร์เทิร์น ปีที่ 3 ฉบับที่ 3

[20] กรเทพ ก้องแดนไพร, กฤษณพงศ์ แผ่นทอง, ธนโชติ ไทรสุวรรณ. (2564). **การศึกษามรรณนะของอีเจ็คเตอร์สองสเตทโดยใช้โปรแกรมในการจำลอง**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน (U_{mf}) ของเม็ดลีคาแฟสด [15]

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้เม็ดลีคาแฟเป็นวัสดุที่จะศึกษาทำให้ไม่ทราบค่าสัดส่วนของช่องว่างอากาศขณะเกิดฟลูอิดเซชัน (ϵ_{mf}) ดังนั้นจึงประมาณว่าค่าสัดส่วนของช่องว่างอากาศขณะเกิดฟลูอิดเซชันมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนช่องว่างอากาศตอนเริ่มต้น (ϵ_0) จากสมการ

$$\frac{\rho_a(\rho_t - \rho_a)g d^3 s}{\mu_a} = \frac{150 - (1 - \epsilon_{mf})}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} \left(\frac{\rho_a U_{mf} d_s}{\mu_a} \right) + \frac{175}{\epsilon_{mf}^3} \left(\frac{\rho_a U_{mf} d_s}{\mu_a} \right)^2 \quad (ก.1)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\frac{\rho_a U_{mf} d_s}{\mu_a} = Re_s$$

จะได้ว่า

$$\frac{\rho_a(\rho_t - \rho_a)g d^3 s}{\mu_a} = \frac{150 - (1 - \epsilon_{mf})}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} (Re_s) + \frac{175}{\epsilon_{mf}^3} (Re_s)^2 \quad (ก.2)$$

มีค่า $\rho_g = 1.184 \text{ kg/m}^3$ และ $\mu_g = 1.86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ แทนค่าลงในสมการที่ ก.2 จะได้ว่า

$$\frac{1.184 \times (1846.176) \times 9.81 \times (12.5 \times 10^{-3})^3}{(1.86 \times 10^{-5})^2} = \frac{150 \times (1 - 0.521)}{0.95^2 \times 0.521^3} Re_s + \frac{1.75}{0.95 \times 0.521^3} Re_s^2$$

$$121,059,245.1 = 559.86 Re_s + 12.973 Re_s^2$$

$$\text{หรือ } 12.973 Re_s^2 + 559.86 Re_s - 121,059,245.1 = 0$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } Re = 3,033.27$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Re_s = \frac{\rho_a U_{mf} d_s}{\mu_g} \quad (ก.3)$$

$$3033.27 = \frac{1.184 \times U_{mf} (12.5 \times 10^{-3})}{(1.86 \times 10^{-5})}$$

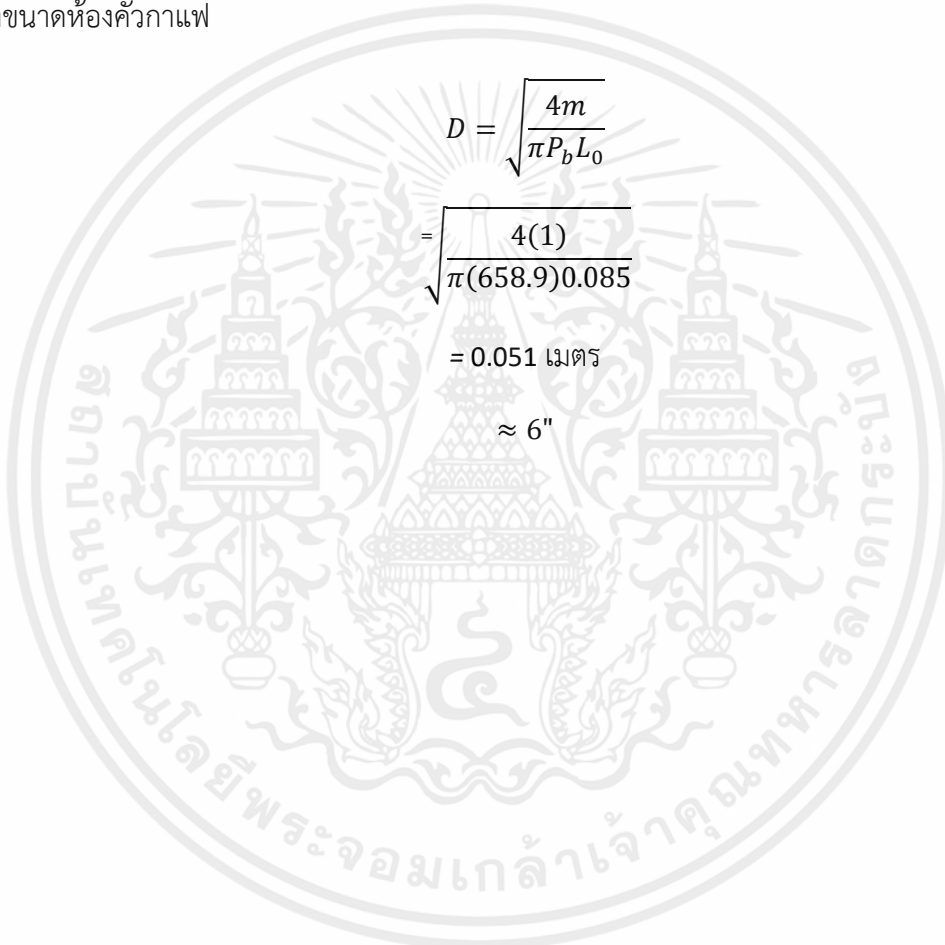
$$U_{mf} = 4 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

หาขนาดห้องคั่วกาแฟ

$$D = \sqrt{\frac{4m}{\pi P_b L_0}}$$

$$= \sqrt{\frac{4(1)}{\pi(658.9)0.085}}$$

$$= 0.051 \text{ เมตร}$$

$$\approx 6"$$


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 180°C ที่ความเร็วลม 4 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	180	180	180
0.1	167.64	168.53	162.7
0.2	161.14	161.91	159.43
0.3	151.15	150.29	150.13
0.4	150.57	143.3	151

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 220°C ที่ความเร็วลม 4 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	220	220	220
0.1	204.18	205.24	198
0.2	196.01	197.24	193.88
0.3	183.45	182.54	182.17
0.4	182.73	173.64	184.5

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 270°C ที่ความเร็วลม 4 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	270	270	270
0.1	249.69	250.96	242
0.2	239.47	240.84	236.9
0.3	223.72	222.83	222.12
0.4	222.82	211.52	225.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 180°C ที่ความเร็วลม 6 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	180	180	180
0.1	171.02	171.3	168.16
0.2	166.43	165.29	167.81
0.3	156.62	155.82	162.8
0.4	151.67	133.33	152.7

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 220°C ที่ความเร็วลม 6 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	220	220	220
0.1	208.5	208.82	203.67
0.2	202.73	201.32	204.5
0.3	190.39	189.49	198.18
0.4	184.15	161.04	185.47

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 270°C ที่ความเร็วลม 6 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	270	270	270
0.1	255.24	255.59	249.21
0.2	248	246.27	250.26
0.3	232.51	231.57	242.33
0.4	224.68	195.63	226.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 180°C ที่ความเร็วลม 8 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	180	180	180
0.1	167.64	173.18	168.89
0.2	161.14	166.05	168
0.3	151.15	155.73	150.89
0.4	150.57	155.26	150.05

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 220°C ที่ความเร็วลม 8 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	220	220	220
0.1	210.26	210.23	205.88
0.2	203.41	203.32	204.62
0.3	192.86	189.42	183.27
0.4	192.21	188.82	182.16

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่ 270°C ที่ความเร็วลม 8 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	270	270	270
0.1	257.48	261.05	252.05
0.2	248.81	249.25	250.47
0.3	235.29	231.59	223.76
0.4	234.49	230.83	222.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 180°C ที่ความเร็วลม 4 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	180	180	180
0.1	167.7	171.04	162.7
0.2	161.3	165.74	159.43
0.3	151.52	156.98	150.13
0.4	151	153.91	152.3

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 220°C ที่ความเร็วลม 4 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	220	220	220
0.1	204.22	208.69	199.85
0.2	196.19	202	195.63
0.3	184	191.15	183.58
0.4	183.22	187.13	185

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 270°C ที่ความเร็วลม 4 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	270	270	270
0.1	249.75	255.76	244.63
0.2	239.7	247.39	239.32
0.3	224.32	233.65	224.14
0.4	223.45	228.75	225.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 180°C ที่ความเร็วลม 6 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	180	180	180
0.1	171.04	173.59	168.112
0.2	166.48	168.95	168.73
0.3	156.78	158.71	163.6
0.4	151.88	156.97	161.58

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 220°C ที่ความเร็วลม 6 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	220	220	220
0.1	208.52	211.91	205.01
0.2	202.8	206.05	205.79
0.3	190.56	193.15	199.3
0.4	184.39	190.96	196.76

ตารางที่ ข.15 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 270°C ที่ความเร็วลม 6 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	270	270	270
0.1	255.26	259.81	251.13
0.2	248.34	252.46	252.1
0.3	232.71	236.26	243.94
0.4	224.95	233.49	240.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 180°C ที่ความเร็วลม 8 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	180	180	180
0.1	172.39	174.49	169.6
0.2	167	167	168.57
0.3	158.58	159.93	151.25
0.4	158.06	157.6	150.2

ตารางที่ ข.17 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 220°C ที่ความเร็วลม 8 m/s

Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	220	220	220
0.1	211.39	213.05	206.88
0.2	204.31	203.51	205.59
0.3	193.32	192.55	183.69
0.4	192.69	191.91	182.41

ตารางที่ ข.18 ข้อมูลผลอุณหภูมิขาเข้าโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 270°C ที่ความเร็วลม 8 m/s

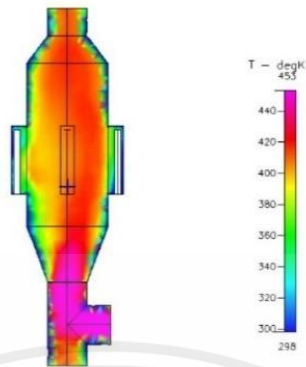
Chordlength (m)	Temperature (C)		
	4 corners	Middle	Top
0	270	270	270
0.1	257.51	258.69	253.48
0.2	249	247.54	251.85
0.3	235.65	238.1	224.21
0.4	234.83	234.34	222.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

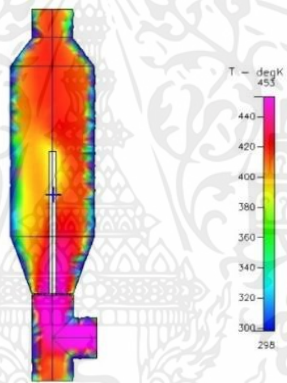


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

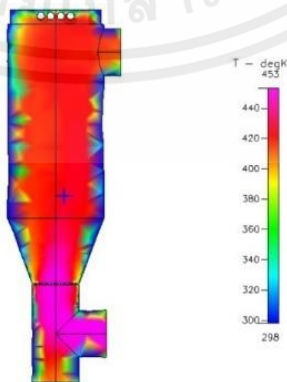
1.1 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ความเร็วลม 4 m/s



ภาพที่ ค.1 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านบนห้องคั่ว



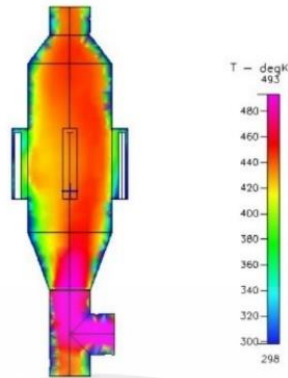
ภาพที่ ค.2 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องคั่ว



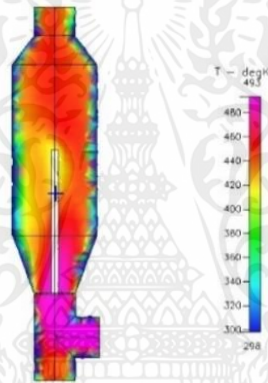
ภาพที่ ค.3 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

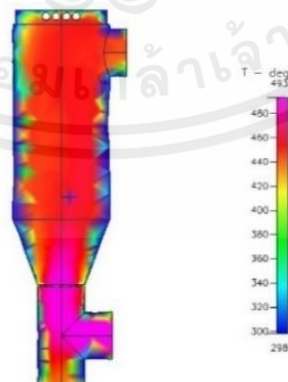
1.2 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 220°C ความเร็วลม 4 m/s



ภาพที่ ค.4 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องห้องคั่ว



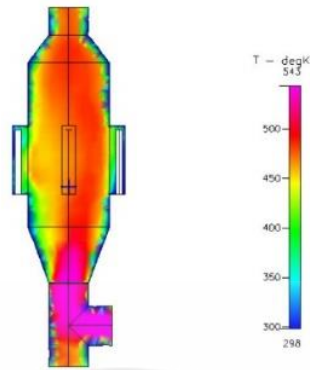
ภาพที่ ค.5 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องห้องคั่ว



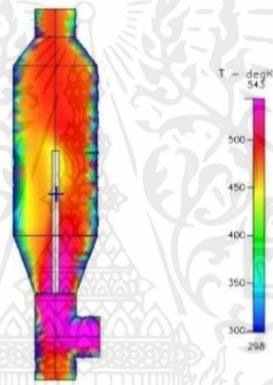
ภาพที่ ค.6 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

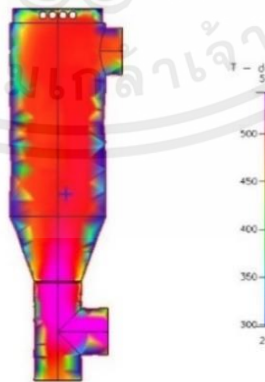
1.3 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 270°C ความเร็วลม 4 m/s



ภาพที่ ค.7 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มม. ของด้านนอกห้องห้องคั่ว



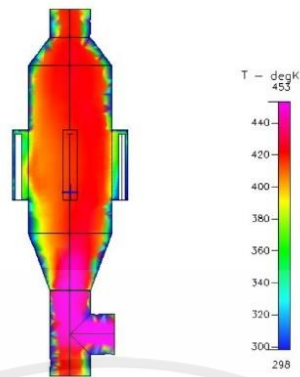
ภาพที่ ค.8 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องห้องคั่ว



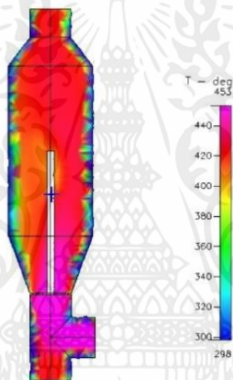
ภาพที่ ค.9 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

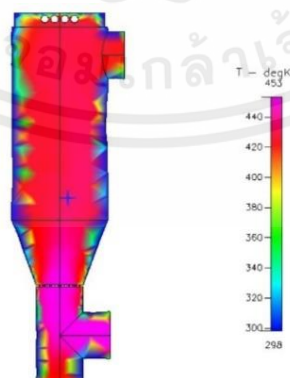
1.4 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ความเร็วลม 6 m/s



ภาพที่ ค.10 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มม
ของด้านนอกห้องห้องคั่ว



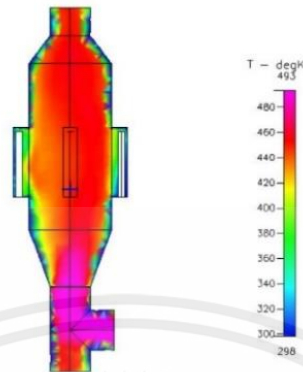
ภาพที่ ค.11 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลาง
ของห้องห้องคั่ว



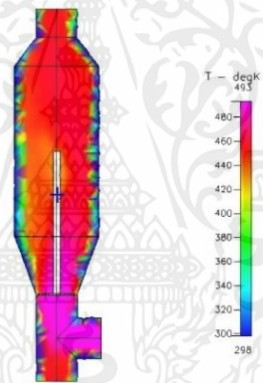
ภาพที่ ค.12 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝา
ของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

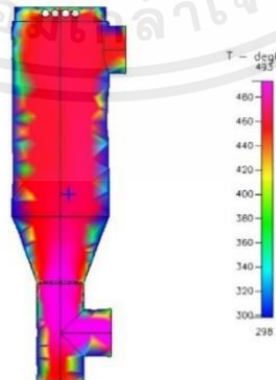
1.5 ผลการจำลองการแพร่กระจายของอุณหภูมิ 220°C ความเร็วลม 6 m/s



ภาพที่ ค.13 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องห้องคั่ว



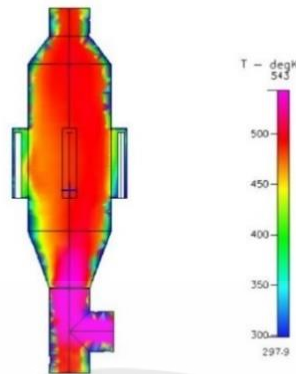
ภาพที่ ค.14 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องห้องคั่ว



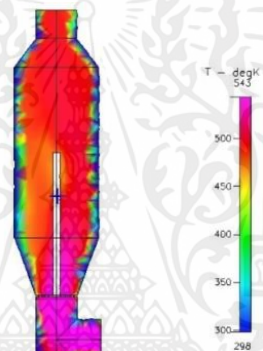
ภาพที่ ค.15 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

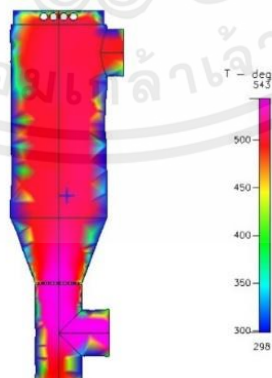
1.6 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 270°C ความเร็วลม 6 m/s



ภาพที่ ค.16 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องห้องคั่ว



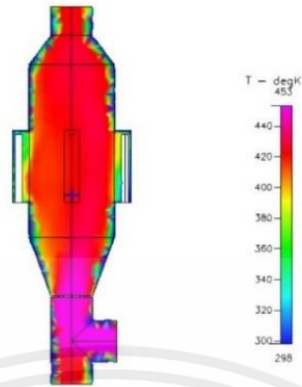
ภาพที่ ค.17 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางห้องห้องคั่ว



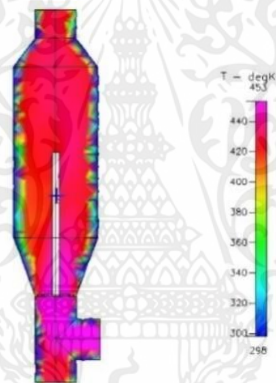
ภาพที่ ค.18 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

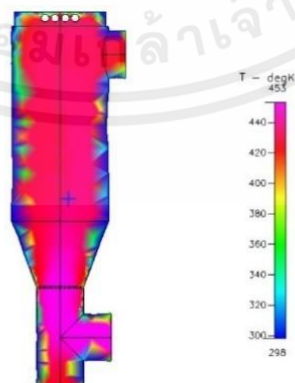
1.7 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ความเร็วลม 8 m/s



ภาพที่ ค.19 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องห้องคั่ว



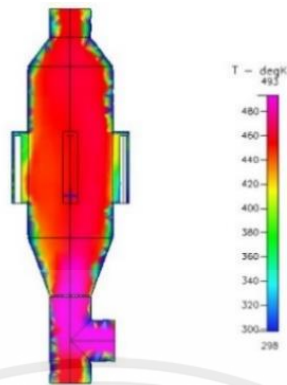
ภาพที่ ค.20 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องห้องคั่ว



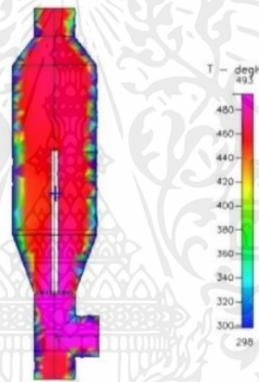
ภาพที่ ค.21 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

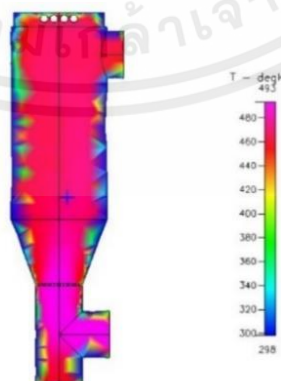
1.8 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 220°C ความเร็วลม 8 m/s



ภาพที่ ค.22 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องห้องคั่ว



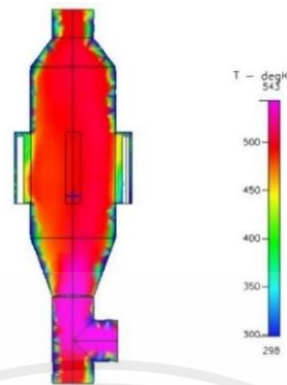
ภาพที่ ค.23 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องห้องคั่ว



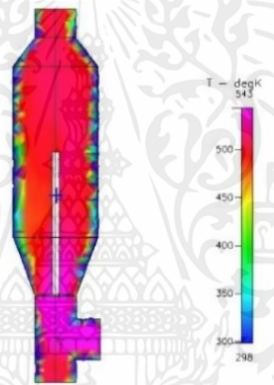
ภาพที่ ค.24 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

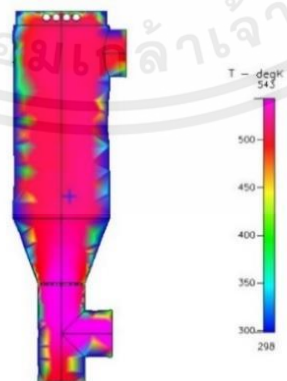
1.9 ผลการจำลองการแพร่กระจายของลมร้อนที่อุณหภูมิ 270°C ความเร็วลม 8 m/s



ภาพที่ ค.25 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ที่ 4 มุมของด้านนอกห้องห้องคั่ว



ภาพที่ ค.26 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ตรงกลางของห้องห้องคั่ว

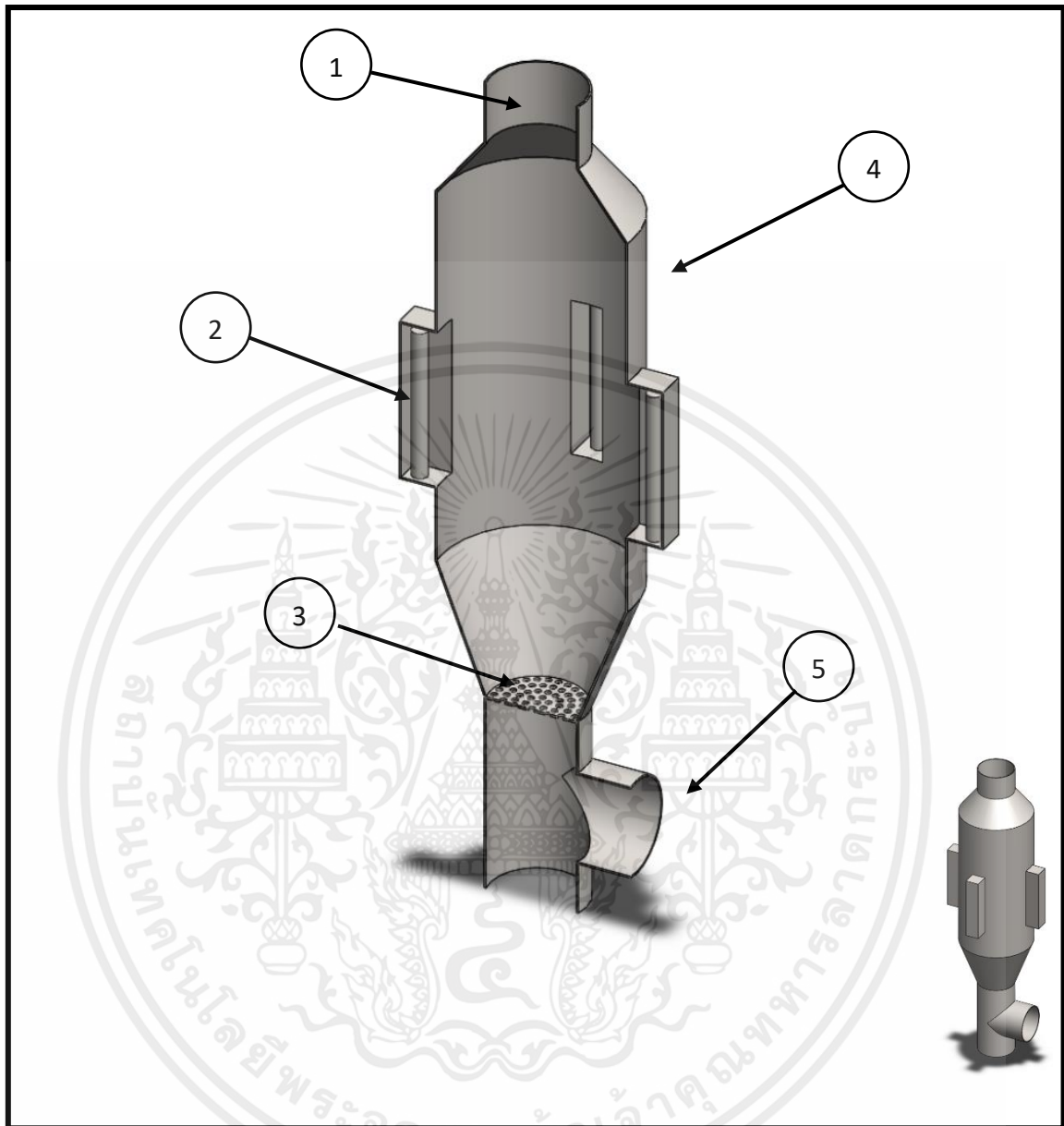


ภาพที่ ค.27 ผลทดลองการกระจายของอุณหภูมิในห้องคั่วที่ติดตั้งหลอดไว้ด้านบนฝาของห้องห้องคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

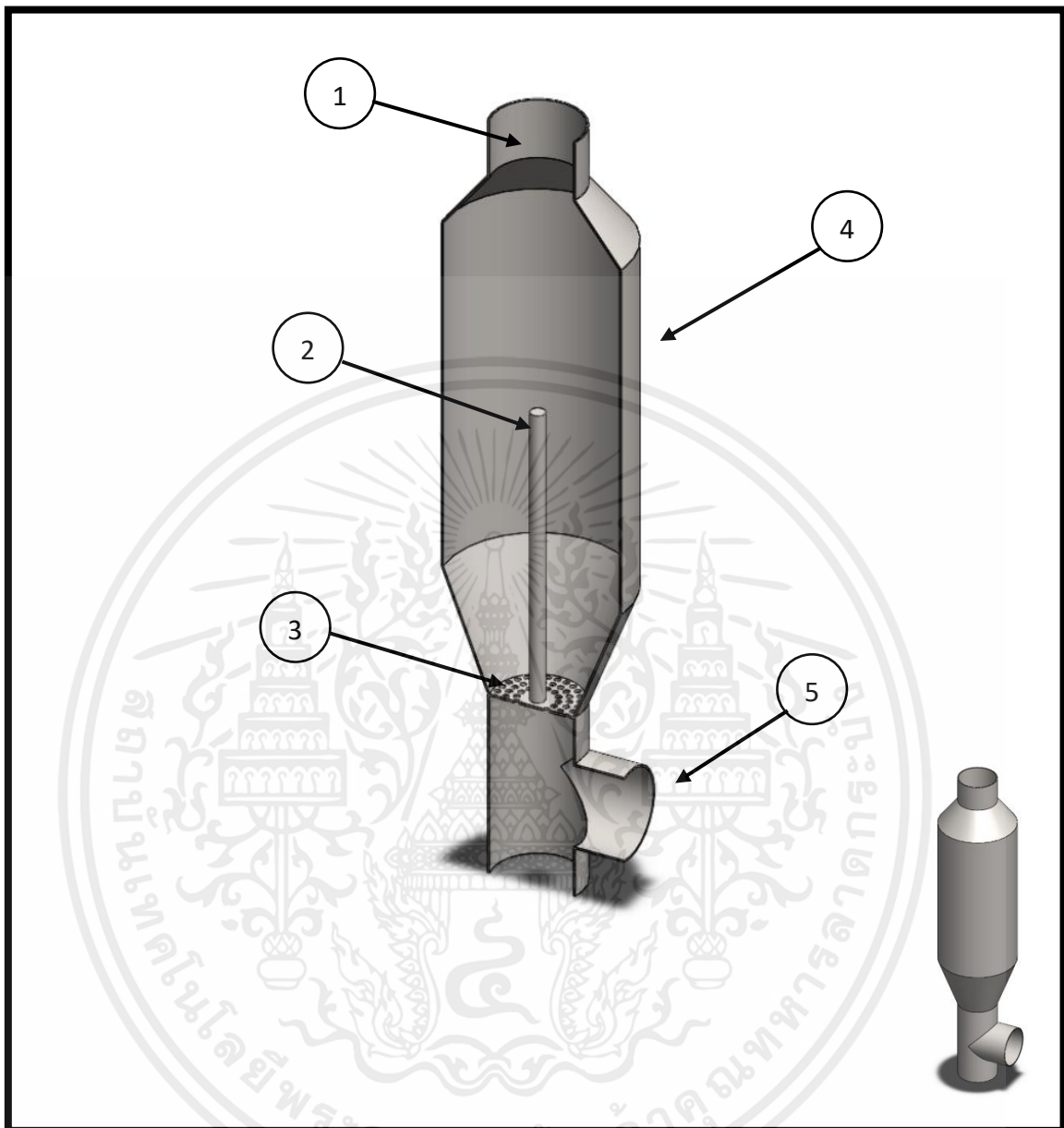


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



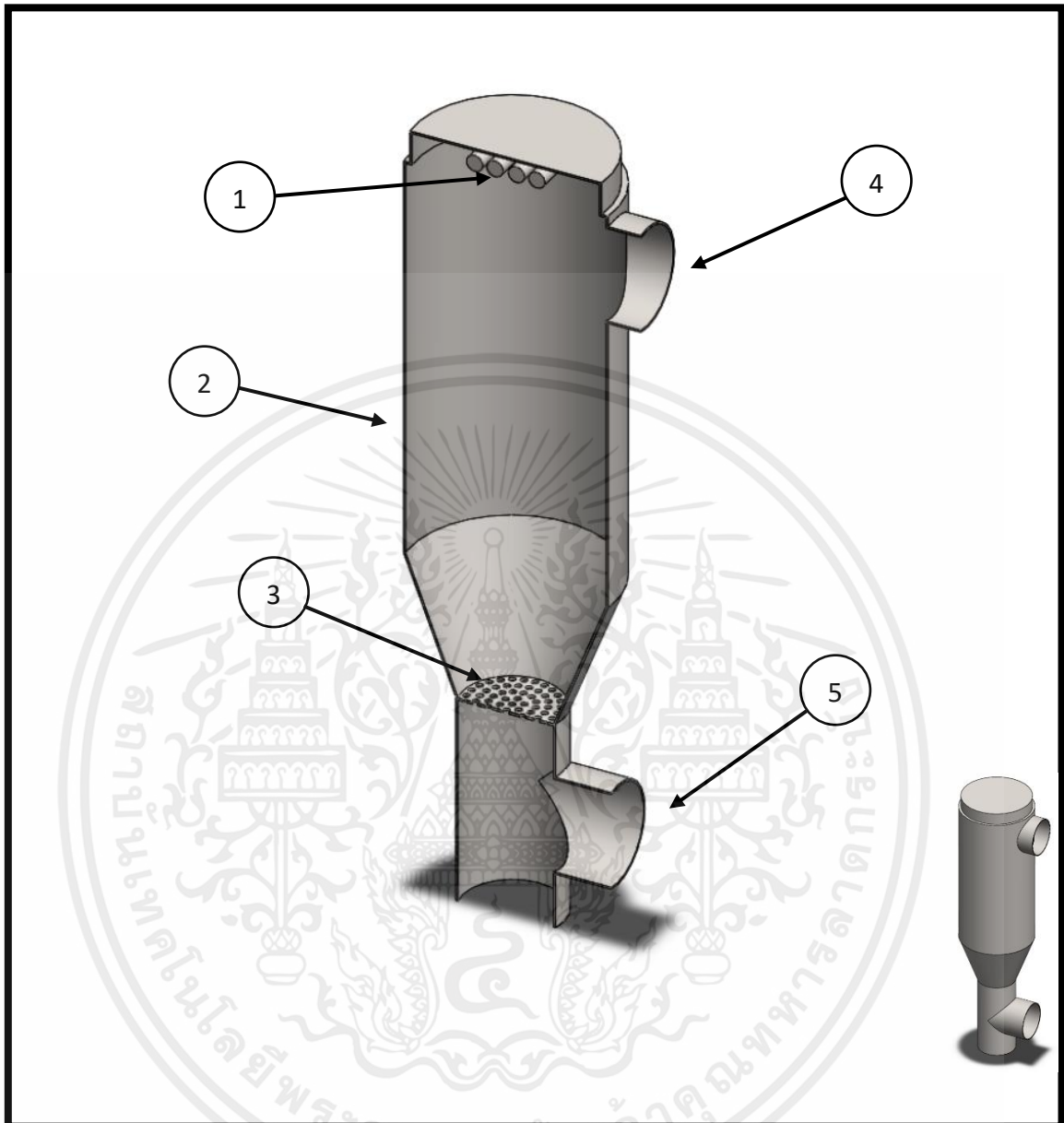
เลขที่	ความหมาย
1	ท่อทางออกของลม
2	หลอดฮาโลเจน
3	ตะแกรงกระจายลม
4	ห้องคั่ว
5	ท่อทางเข้าของลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



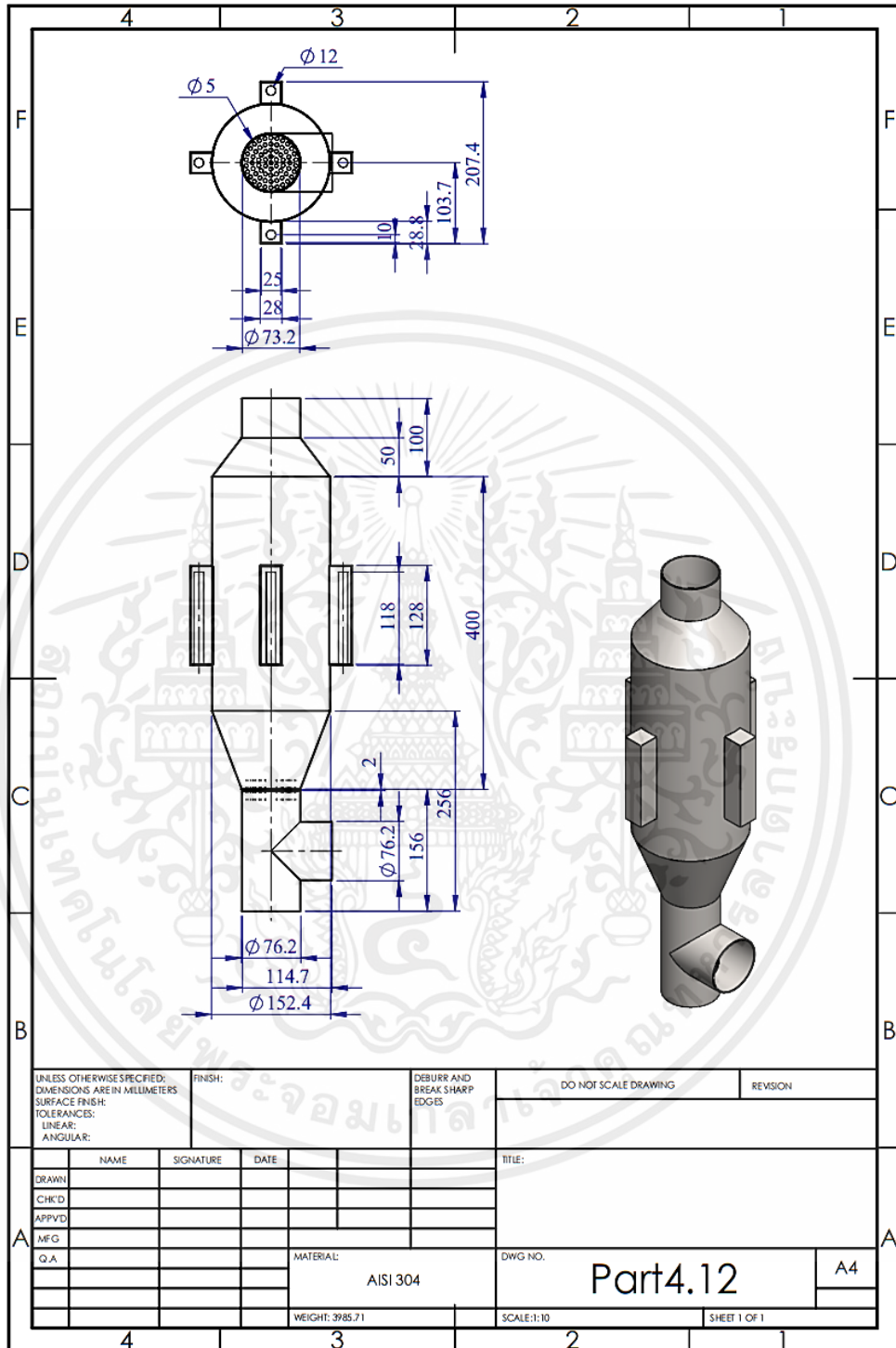
เลขที่	ความหมาย
1	ท่อทางออกของลม
2	หลอดฮาโลเจน
3	ตะแกรงกระจายลม
4	ห้องค้ำ
5	ท่อทางเข้าของลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

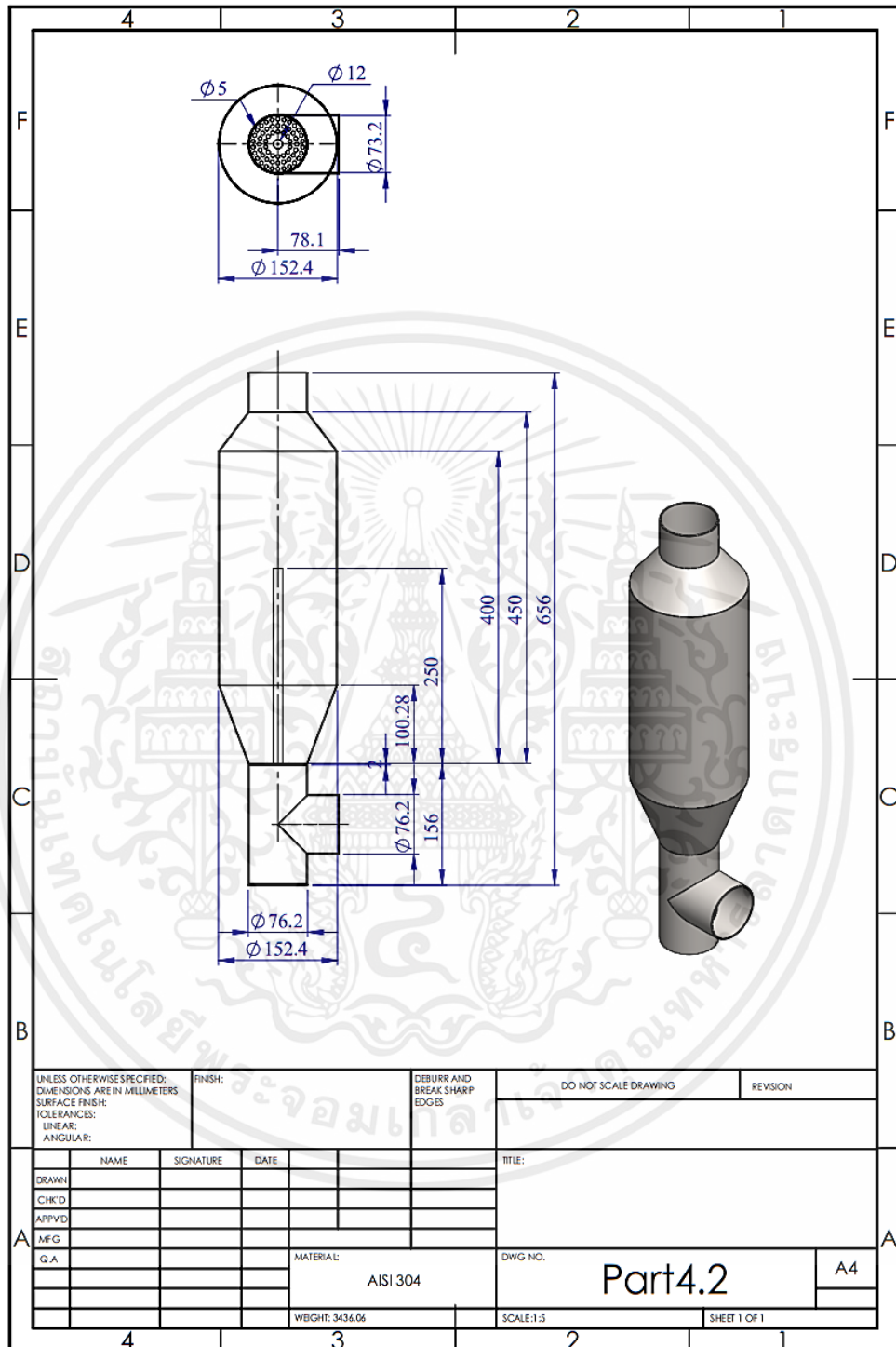


เลขที่	ความหมาย
1	หลอดฮาโลเจน
2	ห้องคั่ว
3	ตะแกรงกระจายลม
4	ท่อทางออกของลม
5	ท่อทางเข้าของลม

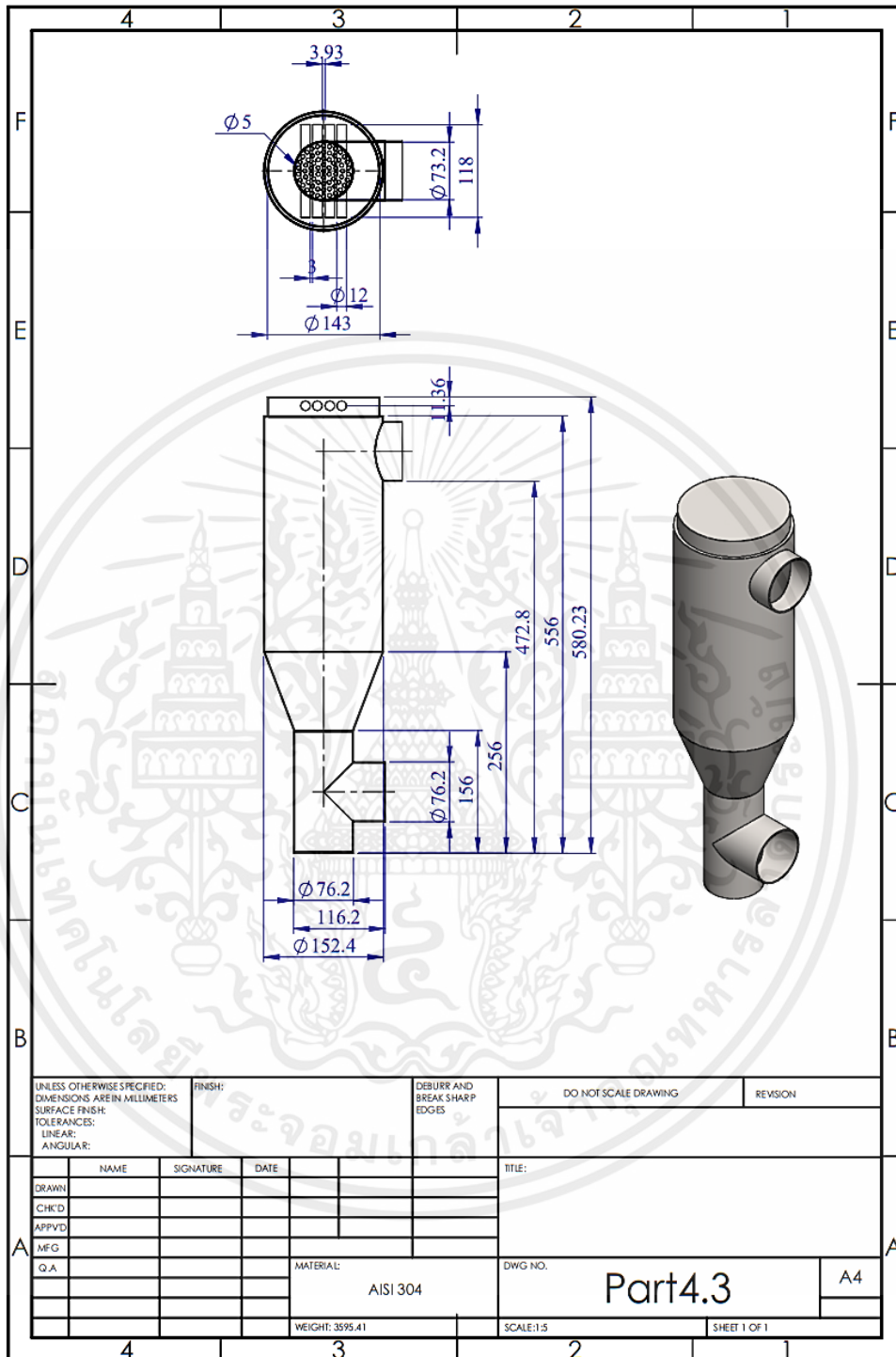
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายจรรวัฒน์ วงศ์วัฒน์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 5 กรกฎาคม 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 45/12 หมู่ที่ 1 ถนนเพชรเกษม ตำบลบ้านนา
 อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร 86190
 E-mail 63201221@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคการผลิต ปีการศึกษา 2562 จากวิทยาลัยเทคนิคชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2566 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายธีรยุทธ เซาวนา
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 28 สิงหาคม 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 123 หมู่ 7 ถนนวันเฉลิม ตำบลทะเลทรัพย์
 อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160
 E-mail 63201235@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคยานยนต์ ปีการศึกษา 2562 จากวิทยาลัยเทคนิคชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2566 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายปณรงค์ ช่วยอุดม
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 14 ตุลาคม 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 115/1 หมู่10 ตำบลด่านสวี อำเภอสวี จังหวัด
 ชุมพร 86130
 E-mail 63201241@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคยานยนต์ ปีการศึกษา 2562 จากวิทยาลัยเทคนิคชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2566 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้