

อิทธิพลของลักษณะและขนาดของทางเข้าและทางออกของอากาศที่มีต่อ
การไหลและอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS AND SIZE OF THE INLET AND
OUTLET OF THE AIR ON THE FLOW AND TEMPERATURE INSIDE THE
SOLAR DRYER



บุรธัช เฟื่องพะลา
BURATHAT PENGPALA
รุ่งโรจน์ ทองสุข
RUNGROT THONGSUK
อธิป แก้วมณี
ATHIP KAEWMANEE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของลักษณะและขนาดของทางเข้าและทางออกของอากาศที่มีต่อ
การไหลและอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS AND SIZE OF THE INLET AND
OUTLET OF THE AIR ON THE FLOW AND TEMPERATURE INSIDE THE
SOLAR DRYER



บุรธีช เพ็งพะลา
BURATHAT PENGPALA
รุ่งโรจน์ ทองสุข
RUNGROT THONGSUK
อธิป แก้วมณี
ATHIP KAEWMANEE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS AND SIZE OF THE INLET AND
OUTLET OF THE AIR ON THE FLOW AND TEMPERATURE INSIDE THE
SOLAR DRYER



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANGPRINCE OF
CHUMPHON CAMPUS 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING


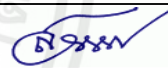


KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ อธิพจน์ของลักษณะและขนาดของทางเข้าและทางออกของอากาศที่มีต่อ
การไหลและอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
Project Title THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS AND SIZE OF THE
INLET AND OUTLET OF THE AIR ON THE FLOW AND
TEMPERATURE INSIDE THE SOLAR DRYER
ชื่อนักศึกษา นายบุรุษ พิ้งพะลา รหัสประจำตัว 61512013
นายรุ่งโรจน์ ทองสุข รหัสประจำตัว 61512017
นายอชิป แก้วมณี รหัสประจำตัว 61512022
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วราภรณ์ วัฒน
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
อาจารย์อดิเรก	สุริยวงค์	กรรมการสอบ	
ผศ.วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	
ผศ.วราภรณ์	วัฒน	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 มิถุนายน 2564 เวลา
สถานที่สอบ ณ สอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อิทธิพลของลักษณะและขนาดของทางเข้าและทางออกของอากาศที่มีต่อการไหลและอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	
ชื่อนักศึกษา	นายบุรุษ เฟ็งพะลา	รหัสประจำตัว 61512013
	นายรุ่งโรจน์ ทองสุข	รหัสประจำตัว 61512017
	นายอชิป แก้วมณี	รหัสประจำตัว 61512022
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วราษชล วัฒนะ	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองและศึกษาอิทธิพลของลักษณะและขนาดของทางเข้าและทางออกของอากาศที่มีต่อการไหลและอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Solid Work (Flow simulation) โดยทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการจำลองกับผลการทดลองของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการวัดอุณหภูมิภายในตู้ 10 ตำแหน่ง จากนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออก 6 กรณี ประกอบด้วยทางออกกรณีที่ 1-4 เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู โดยมีช่องทางเข้าเป็นท่อขนาด 7.62, 16.51, 5.08 และ 10.16 เซนติเมตร ตามลำดับและทางออกกรณีที่ 5-6 ทางออกเป็นท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร และ 3.81 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งท่อกลมนี้มีความยาว 10 เซนติเมตร เพื่อศึกษาความแตกต่างของการกระจายของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาทั้งหมด 6 กรณีพบว่า การปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออกของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในกรณีการศึกษาที่ 4 มีการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบในแต่ละชั้นที่ใกล้เคียงกันที่สุด และมีอุณหภูมิกับความเร็วเฉลี่ยสูงสุดโดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.92 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.052 เมตรต่อวินาที

คำสำคัญ: ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การกระจายอุณหภูมิ, การกระจายความเร็ว

Thesis	THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS AND SIZE OF THE INLET AND OUTLET OF THE AIR ON THE FLOW AND TEMPERATURE INSIDE THE SOLAR DRYER	
Student	Mr. Burathat Pengpala	Student ID 61512013
	Mr. Rungrot Thongsuk	Student ID 61512017
	Mr. Athip Kaewmanee	Student ID 61512022
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Thesis Advisor	Asst. Prof. Wassachol Wattana	

ABSTRACT

The objective of this study is to be simulated and studied the influence of the characteristics and size of the inlet and outlet of the air on the flow and temperature inside the solar dryer. The task was accomplished by simulating computational fluid dynamics via the program SolidWorks (Flow simulation). The procedure was done by validated the accuracy of the simulation with the experimental results of the solar drying cabinet that measuring the temperature in 10 positions. After that, the modified of the air inlet and outlet in 6 cases were simulated and analyzed. The 1st-4th cases were the cases that outlet was sieve that have 121 holes and 5 mm of thickness and 5 mm of diameter of each hole, whereas the inlet is a pipe with a diameter of 7.62, 16.51, 5.08 and 10.16 cm, respectively. And The outlet in 5th-6th cases were the case that the outlet was a round pipe with a diameter of 7.62 cm and 3.81 cm with 10 cm length, respectively. These all case were simulated to study the difference in the distribution of temperature and the air velocity within the drying cabinet. From all of simulation results, it was found that the 4th case provided the most similar temperature distribution and the highest average temperature and velocity. The average internal temperature is 43.92 °C and an average internal velocity of 0.052 m/s.

Keywords: Solar drying cabinet, computational fluid dynamics, temperature distribution, velocity distribution

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะการสนับสนุนอย่างเต็มที่ซึ่งทางคณะผู้จัดทำ งานวิจัยนี้ต้องขอขอบคุณ ผศ.วรัชชล วัฒนนะ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ที่คอยให้คำปรึกษาและ ช่วยเหลือด้านต่างๆ นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ที่ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับการ ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือ บิดา มารดาอันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่ให้โอกาส ทางการศึกษาและสนับสนุนทุนทรัพย์อย่างเต็มที่และคอยในกำลังใจเสมอมาอันหาที่เปรียบมิได้ จึงขอ ระลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และขอกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

นายบุรุษ เพ็งพะลา
นายรุ่งโรจน์ ทองสุข
นายอชิป แก้วมณี
23 มิถุนายน 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของการไหล	4
2.2 การถ่ายเทความร้อน	11
2.3 ความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหล	15
2.4 การไหลแบบลามินาร์	16
2.5 การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์	17
2.6 ทฤษฎีการอบแห้ง	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	24
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลอง	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า	26
3.3 การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข	28
3.4 สมมติฐานและขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง	29
3.5 ข้อมูลที่ป้อนเพื่อใช้พิจารณาอุณหภูมิและความเร็วของแบบจำลอง แบบการไหลภายใน (internal flow)	30
3.6 การคำนวณค่า Heat generation rate (Q)	30
3.7 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 การตรวจสอบความแม่นยำของ mesh	35
3.9 การเปรียบเทียบอนุหภูมิจากผลการจำลองกับผลการทดลองจริง	37
3.10 การแสดงผลการจำลอง	38
3.11 กรณีการศึกษา	39
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	43
4.1 การดำเนินงานด้านการจำลองโมเดลของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	43
4.2 ผลการเปรียบเทียบอนุหภูมิการจำลองกับการทดลองจริง	43
4.3 ผลการทดลองของตู้อบตามแบบการทดลอง	44
4.4 การศึกษาอิทธิพลของทางเข้าและทางออกที่มีผลต่อการกระจายอนุหภูมิ กับความเร็วของอากาศภายในตู้อบ	46
4.5 สรุปผลการเปรียบเทียบของแต่ละกรณี	58
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการจำลอง	60
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง	64
ภาคผนวก ข ข้อมูลและตารางค่าคุณสมบัติ	68
ภาคผนวก ค ผลการจำลอง	71
ภาคผนวก ง ภาพแสดงตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	75
ประวัติผู้จัดทำ	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานการศึกษาและจำลองโมเดล	3
3.1	การตั้งค่าทั่วไปที่ใช้พิจารณาอุณหภูมิและความเร็วของแบบจำลองแบบการไหลภายใน (Internal flow)	29
3.2	แสดงการเปรียบเทียบระดับ mesh ต่างๆกับ fluid cell	35
4.1	การปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออก	46
4.2	อุณหภูมิและความเร็วของอากาศในตู้อบของกรณีการศึกษา	59
ก.1	เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่ง	65
ข.1	คุณสมบัติของอากาศที่ความดัน 1 atm	69
ข.2	ผนังตู้หาลจากอุณหภูมิ 39.87 °C เทียบ TABLE: A -22	69
ข.3	ทำการ Interporation หาค่า Pr,V,K ที่อุณหภูมิ 39.87 °C ได้ค่าดังนี้	69
ข.4	ผนังใต้ตู้ หาลจากอุณหภูมิ 38.25 °C เทียบ TABLE: A -22	70
ข.5	ทำการ Interporation หาค่า Pr,V,K ที่อุณหภูมิ 38.25 °C ได้ค่าดังนี้	70
ข.6	หลังคาตู้ หาลจากอุณหภูมิ 37.45 °C เทียบ TABLE: A -22	70
ข.7	ทำการ Interporation หาค่า Pr,V,K ที่อุณหภูมิ 37.45°C ได้ค่าดังนี้	70
ค.1	ผลการจำลองกรณีที่ 1	72
ค.2	ผลการจำลองกรณีที่ 2	72
ค.3	ผลการจำลองกรณีที่ 3	73
ค.4	ผลการจำลองกรณีที่ 4	73
ค.5	ผลการจำลองกรณีที่ 5	74
ค.6	ผลการจำลองกรณีที่ 6	74

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	การนำความร้อน	11
2.2	ความเร็วเฉลี่ยในท่อ	15
2.3	velocity profile ในการไหลลามินาร์	17
2.4	velocity profile สำหรับอัตราการไหลเท่ากัน	18
2.5	ลักษณะความเร็วลมภายในห้องอบแห้ง	22
2.6	อุณหภูมิและความเร็วลมภายในเครื่องอบแห้ง	23
3.1	ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	24
3.2	โน้ตบุ๊ก	24
3.3	โปรแกรม Solid works 2020	25
3.4	โปรแกรม Solid works Flow simulation 2020	25
3.5	Thermo couple Probe type K	26
3.6	Temperature display	26
3.7	เครื่องวัดความเร็วลมขนาดเล็ก	27
3.8	Thermometer	27
3.9	เครื่องวัดอุณหภูมิ INFRARED THERMOMETER	28
3.10	แบบจำลองและเงื่อนไขขอบเขตตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	28
3.11	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	34
3.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับ mesh ต่างๆกับ fluid cell	35
3.13	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำที่ระดับ mesh ต่างๆ	35
3.14	ระดับ mesh 3 ที่มี fluid cell เท่ากับ 20988	36
3.15	ระดับ mesh 4 ที่มี fluid cell เท่ากับ 31143	36
3.16	ระดับ mesh 5 ที่มี fluid cell เท่ากับ 43398	37
3.17	ระดับ mesh 6 ที่มี fluid cell เท่ากับ 163648	37
3.18	กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างผลการทดลองจริงกับผลการจำลอง	38
3.19	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบ	38
3.20	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบ	39
3.21	ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรง	40
3.22	ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงและทาง เข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร	40
3.23	ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงและทาง เข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.24	ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงและทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร	41
3.25	ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62	42
3.26	ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 3.81	42
4.1	ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิการจำลองกับการทดลองจริง	43
4.2	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบ	44
4.3	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบ	45
4.4	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 1	47
4.5	การแสดงเวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 1	48
4.6	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 2	49
4.7	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 2	50
4.8	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 3	51
4.9	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 3	52
4.10	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 4	53
4.11	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 4	54
4.12	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 5	55
4.13	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 5	56
4.14	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 6	57
4.15	เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 6	58
ก.1	เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตำแหน่ง	65
ง.1	พื้นตู้อบแบบที่ 1	76
ง.2	พื้นตู้อบแบบที่ 2	76
ง.3	พื้นตู้อบแบบที่ 3	77
ง.4	พื้นตู้อบแบบที่ 4	77
ง.5	ท่อทางออกแบบที่ 1	78
ง.6	ท่อทางออกแบบที่ 2	78
ง.7	ท่อทางออกแบบที่ 3	79
ง.8	ท่อทางออกแบบที่ 4	79
ง.9	ท่อทางออกแบบที่ 1	80
ง.10	ท่อทางออกแบบที่ 2	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.11 ตู้อบแห้ง	81
ง.12 ตะแกรงทางออก	81



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งของการถนอมอาหาร ซึ่งนิยมทำกันทั้งภาคเกษตรและอุตสาหกรรมมาอย่างช้านานแล้วการทำให้แห้งมีหลายวิธี เช่นการตากด้วยแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยลมร้อน เป็นต้น วิธีตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ จะมีความสะดวกและค่าใช้จ่ายน้อย โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย การตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม เช่น การตากเนื้อ ปลา พืช ผักและผลไม้ จะมีปัญหาเรื่องฝุ่นละอองมีเชื้อจุลินทรีย์แมลงวันตอมเป็นพาหะนำเชื้อโรคและทำให้เกิดหนอนขึ้นได้ เมื่อฝนตกหรืออากาศเย็นการตากอาจมีปัญหาเรื่องเชื้อราเป็นเหตุให้เก็บไว้ได้ไม่นาน ทำให้ผู้บริโภคอาจเจ็บป่วยได้ จึงได้มีการพัฒนาการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลักการคือแสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้าไปในตู้ (ซึ่งประกอบจากกระจกหรือโพลีคาร์บอเนต) สามารถตรวจสอบอุณหภูมิภายในตู้ได้ และยังควบคุมความเร็วลมภายในตู้ได้เมื่อแสงแดดผ่านเข้าตู้จะทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง (อาจเป็นผลไม้ อาหารต่างๆ) น้ำที่ระเหยจากวัตถุดิบจะลอยตัวและไหลออก

ในการจำลองโมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการจำลองโมเดลของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาอิทธิพลทางด้านอุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลอากาศของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และยังสามารถทำการปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปแบบโมเดลได้เพื่อวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Solid works

การจำลองการไหลในคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ที่สามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในสถานะหนึ่งๆ และสามารถทำนายสภาวะเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทางของอากาศได้ และช่วยในการออกแบบทางอุตสาหกรรม ซึ่งการจำลองการไหลในรูปแบบต่าง ๆ อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาเปลี่ยนแปลงไป ด้วย สามารถทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ง่ายบนคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในระยะเวลาที่สั้นทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับกระบวนการแบบเดิม ๆ สำหรับการจำลองโมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลอากาศ ทางกลุ่มผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและใช้โปรแกรม Solid works Flow simulation ในการจำลองโมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อ ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลอากาศ

การวิเคราะห์ปัญหาอัตราการไหลของอากาศเพื่อหาความเร็ว อุณหภูมิ สำหรับการใช้ออกแบบสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมหรือการศึกษางานทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics) ได้เข้ามามีบทบาทและได้รับประโยชน์อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันวิธีการคำนวณพลศาสตร์การไหลของอากาศ มีความสอดคล้องความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) โดยการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Solid works เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial different equation) ซึ่งสมการที่แสดงสมดุลของอัตราการไหลของอากาศนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงลายเส้นการไหลของอากาศและสีของเส้นที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำได้รวมถึงกราฟฟิกส์ต่างๆ ทำให้นักวิเคราะห์สามารถเข้าใจอัตราการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผลทำให้สามารถปรับปรุงพัฒนารูปแบบของโมเดลได้

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่จะใช้โปรแกรม Solid works Flow simulation จำลองโมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และวิเคราะห์ปัญหาเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของอากาศเพื่อเปรียบเทียบความต่างของอุณหภูมิกับความเร็วของอากาศภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และทำการเปรียบเทียบความบกพร่องและทำการ Validate ก่อนจึงนำความเข้าใจนั้นมาทำการจำลองย่อยในการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออกของโมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และศึกษาความต่างของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อการจำลองการไหลและการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะและขนาดของทางเข้าและทางออกของอากาศของตู้อบแห้งที่มีผลต่อการไหลของอากาศ และการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. จำลองโมเดลของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Solid works Flow simulation
2. ทำการปรับเปลี่ยนทางเข้าเป็นรูปแบบท่อกลม 3 ขนาด ขนาดที่ 1 5.08 เซนติเมตร ขนาดที่ 2 7.62 เซนติเมตร และ ขนาดที่ 3 10.16 เซนติเมตร ที่ทางออกของโมเดลมี 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1. มี 2 ขนาด 1.ท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร และ 2.ท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร รูปแบบที่ 2 เป็น ตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. ได้เรียนรู้การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์
3. สามารถใช้แบบจำลองมาศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ
4. สามารถพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. สืบค้นเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเก็บรวบรวมข้อมูล
2. ออกแบบและจำลองโมเดลของตู้อบ
3. ทำการ Validate เพื่อเปรียบเทียบผล และตรวจสอบความถูกต้อง
4. ศึกษาและวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของอากาศภายในตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปรับเปลี่ยนรูปแบบโมเดลของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และทำการศึกษาความต่างของอุณหภูมิและความเร็วจากการปรับเปลี่ยนโมเดล

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการศึกษาและจำลองโมเดล

หัวข้อ	ระยะเวลาดำเนินงาน											
	ส.ค. 63	ก.ย. 63	ต.ค. 63	พ.ย. 63	ธ.ค. 63	ม.ค. 64	ก.พ. 64	มี.ค. 64	เม.ย. 64	พ.ค. 64	มิ.ย. 64	
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←			→								
2. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม					←	→						
3. เริ่มสร้างแบบจำลอง						←		→				
4. เปรียบเทียบข้อบกพร่อง						←		→				
5. ศึกษาและพัฒนาแบบจำลอง								←		→		
6. วิเคราะห์ข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้อง									←	→		
7. จัดทำเล่ม											←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจำลองสถานการณ์การไหลของมวลอากาศ (Airflow Simulation) พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD ซึ่งย่อมาจาก Computational Fluid Dynamics) คือสาขาหนึ่งในกลศาสตร์ของไหลที่ใช้กระบวนการเชิงตัวเลขและขั้นตอนวิธี (algorithm) ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการไหลของของไหล เพื่อการนี้ คอมพิวเตอร์จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการคำนวณนับล้าน ๆ ครั้งก่อนที่จะสร้างแบบจำลองการทำปฏิกิริยาของของไหลและก๊าซต่อขอบผิวซึ่งกำหนดโดยสภาวะของขอบเขต การทำงานของฟลูอิดไดซ์เบดนั้น มีอิทธิพลอย่างมากต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นความเข้าใจกลไกกระบวนการถ่ายเทความร้อนมีผลอย่างยิ่งต่อการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจ โดยจากรูปได้บ่งบอกถึงอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดตัวสதுเบดและอุณหภูมิของวัสดุเบดเนื่องจากการพาความร้อนจากอนุภาคมีอิทธิพลผลต่อทุกสภาวะอุณหภูมิ

2.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของการไหล [1]

ในการคำนวณปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลโดยปกติจะมีองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย เงื่อนไขขอบเขตของปัญหาและรูปร่างลักษณะของปัญหาซึ่งในการแก้ปัญหारेื่องการไหลระบบสมการเชิงอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้องคือ สมการอนุรักษ์มวล สมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน ซึ่งระบบสมการย่อยนี้อธิบายถึงความเป็นจริงของการไหล สมการเหล่านี้จะประกอบไปด้วยพจน์ที่อยู่ในรูปแบบของค่าอนุพันธ์ (Derivative) ต่างกัน ซึ่งต้องใช้ความเข้าใจเป็นอย่างดี จึงจะช่วยให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือและสามารถอธิบายได้ ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น มี 4 สมการดังนี้

2.1.1 สมการโมเมนตัม (Conservation of Momentum Equation)

ได้ถูกสร้างขึ้นมาจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's Second Law) ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง

$$F = ma \tag{2.1}$$

เรียกสมการเหล่านี้ว่าสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) เพื่อเป็นการให้เกียรติแก่ M. Navier and G. Stokes

$$\text{แกน X: } \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{\nabla} u) = - \frac{\partial P}{\partial x} \bar{\nabla} (\mu \bar{\nabla} u) + \rho f_x \tag{2.2a}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แกน Y: } \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{\nabla} v) = - \frac{\partial P}{\partial y} \bar{\nabla}(\mu \bar{\nabla} v) + \rho f_y \quad (2.2b)$$

$$\text{แกน Z: } \frac{\partial \rho w}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{\nabla} w) = - \frac{\partial P}{\partial z} \bar{\nabla}(\mu \bar{\nabla} w) + \rho f_z \quad (2.2c)$$

สมการข้างต้นเขียนในรูปแบบอนุรักษ์ (Conservation Form) สามารถอธิบายได้ว่า ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมจะต้องเท่ากับผลรวมของ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุม (อัตราการไหลเข้าออกสุทธิของโมเมนตัม) ในงานวิจัยได้ ตั้งสมมุติฐานว่าของไหลเป็นแบบนิวโตเนียน (Newtonian Fluid) และใช้กฎความเสียดทานของสโตกส์ (Stokes's Law) แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเค้นกับความเครียดเป็นเส้นตรงจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสมการได้ดังนี้

$$\sigma_x = - \frac{2}{3} (\mu \bar{\nabla} \bar{V}) + 2\mu \frac{\sigma u}{\sigma x} \quad (2.3a)$$

$$\sigma_y = - \frac{2}{3} (\mu \bar{\nabla} \bar{V}) + 2\mu \frac{\sigma v}{\sigma y} \quad (2.3b)$$

$$\sigma_z = - \frac{2}{3} (\mu \bar{\nabla} \bar{V}) + 2\mu \frac{\sigma w}{\sigma z} \quad (2.3c)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (2.3d)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left[\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right] \quad (2.3e)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (2.3f)$$

โดย μ คือ ค่าความหนืดพลศาสตร์ (Dynamic Viscosity) หรือเรียกว่าความหนืดแรก (First Viscosity) และ λ คือ ค่าความหนืดที่สอง (Second Viscosity) ซึ่งสโตกส์ได้ตั้งสมมุติฐาน (Stokes's Hypothesis) ดังนี้

$$\lambda = - \frac{2}{3} \mu \quad (2.4)$$

สมมุติฐานนี้ใช้กับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow) ซึ่งค่าความหนาแน่น ρ จะคงที่ จากสมการอนุรักษ์มวลจะทำให้ $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$ หรือ $div. \mathbf{V} = 0$ ทำให้เทอมของความหนืดที่สองนั้นไม่ได้ถูกนำมาคำนวณด้วยสมการ 2.2a-f ในสมการดาดตัน $P_{max} = \Sigma P_i$ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แกน X : } \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + f_x \quad (2.5a)$$

$$\text{แกน Y : } \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + f_y \quad (2.5b)$$

$$\text{แกน Z : } \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho ue)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + f_z \quad (2.5c)$$

2.1.2 สมการเชิงอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

เป็นสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่อธิบายการไม่สูญหายของมวล ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรทั้งหมด 4 ตัว (ρ, u, v, w) หรือเรียกอีกชื่อว่าสมการความต่อเนื่อง (Continuity) โดยที่ตัวแปรเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดโดเมนของการไหลซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.6a)$$

สามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ได้ ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{V} = 0 \quad (2.6b)$$

อธิบายได้ว่าปริมาณทางด้านซ้ายของเทอมแรกคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลภายในต่อหน่วยปริมาตร ส่วนเทอมที่สองการไหลเข้าออกของมวลต่อหน่วยปริมาตรถ้าการไหลที่ไม่อัด (Incompressible Flow) ค่าความหนาแน่น (ρ) จะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ (2.6b) จะเปลี่ยนเป็น

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2.6c)$$

หรือ

$$\text{div. } \vec{V} = 0 \quad (2.6d)$$

2.1.3 สมการเชิงอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

สมการนี้มาจากการปรับเปลี่ยนสมการจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในก้อนมวลจะเท่ากับปริมาณพลักซ์ความร้อนที่ให้แก่มวลบวกกับอัตราของงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงต่างๆ ที่กระทำบนก้อนมวลนั้น

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e \frac{V^2}{2} \right) \right] + \bar{\nabla} \cdot \left[\rho \left(e \frac{V^2}{2} + \bar{V} \right) \right] = \rho \bar{Q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{\partial(u)}{\partial x} - \frac{\partial(pvp)}{\partial y} + \frac{\partial(u\sigma_z)}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\sigma_z)}{\partial y} + \rho \bar{f} \cdot \bar{V}$$

(2.7)

เมื่อ u คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน x (m/s)

v คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน y (m/s)

w คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน z (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m³)

f คือ ความเร็วเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก (m/s²)

และ
$$\bar{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \quad (2.8)$$

$$\bar{V} = (u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}) \quad (2.9)$$

สมการที่กล่าวมาทั้งหมดเรียกว่า สมการนาเวียร์ - สโตกส์ (Navier - Stokes Equations) ซึ่งเป็นสมการที่แก้ไขได้ยากมากทางคณิตศาสตร์ ไม่ว่าจะเขียนระบบสมการย่อยเหล่านี้ในรูปแบบใดก็ตาม ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรก การเป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Coupled Partial Differential Equations) ซึ่งผลลัพธ์ที่หาได้ เช่น u, v, p และ T ต้องสอดคล้อง (Satisfy) กับสมการทั้งระบบไปพร้อมๆ กัน ประเภทที่สอง คือ สมการที่อยู่ในรูปไม่เชิงเส้น (Nonlinear Equations) ซึ่งยากที่จะหาผลเฉลยแม่นยำตรงถึงแม้ว่าเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) และลักษณะรูปร่าง (Geometry) ของปัญหาจะง่ายเพียงไรก็ตาม แต่วิธีการแก้ปัญหาของไหลด้วยพลศาสตร์การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทเป็นที่นิยมในปัจจุบัน และผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงถึงลักษณะการไหลได้อย่างแท้จริงนำไปสู่ความเข้าใจในปัญหาได้อย่างดี

สมการที่กล่าวมาข้างต้น (2.1-2.7) มีตัวแปรที่ไม่รู้ค่า (Unknowns) ทั้งหมด 6 ตัว คือ ρ, u, v, w, P และ e มี 5 สมการ เราจึงต้องหาสมการเพิ่มเติมอีกสมการ สำหรับของไหลที่อัดตัวได้ (Compressible Flow) ในกรณีนี้ในก๊าซเป็นก๊าซสมบูรณ์ (Perfect Gas)

$$p = \rho RT \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R คือ ค่าคงตัวสากลของก๊าซ (Universal Gas Constant) เรียกสมการ 2.10 นี้ว่า สมการของสถานะ (Equation of State) แต่สมการนี้ได้เพิ่มตัวแปรที่ไม่รู้ค่าอีก 1 ตัว คือ T (Temperature) เราจึงต้องหาสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ T กับพลังงานภายใน e

$$e = c_v T \quad (2.11)$$

คือ C_v ความร้อนจำเพาะของก๊าซที่ปริมาตรคงตัว (Specific Heat at Constant Volume) ระบบสมการควบคุม (Governing Equations) ทั้งหมดสามารถเขียนให้อยู่ในรูปดังนี้

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial z} = J \quad (2.12)$$

โดยที่

$$U = \begin{Bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \end{Bmatrix}, F = \begin{Bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p - \tau_{xx} \\ \rho v u - \tau_{xy} \\ \rho w u - \tau_{xz} \\ \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) u + p u - k \frac{\partial T}{\partial x} - u \tau_{xx} - v \tau_{xy} - w \tau_{xz} \end{Bmatrix}$$

$$G = \begin{Bmatrix} \rho v \\ \rho v u - \tau_{yx} \\ \rho v^2 + p - \tau_{yy} \\ \rho w u - \tau_{yz} \\ \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) u + p v - k \frac{\partial T}{\partial y} - u \tau_{yx} - v \tau_{yy} - w \tau_{yz} \end{Bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \left\{ \begin{array}{l} \rho w \\ \rho u w - \tau_{zx} \\ \rho v w - \tau_{zy} \\ \rho w^2 + p - \tau_{zz} \\ \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) w + p w - k \frac{\partial T}{\partial z} - u \tau_{zx} - v \tau_{zy} - w \tau_{zz} \end{array} \right\}, J = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ f_x \\ f_y \\ f_z \\ (u f_x + v f_y + w f_z) + \rho \dot{q} \end{array} \right\}$$

F, G, H เรียกว่า Flux Vectors, J เรียกว่า Source Term, U เรียกว่า Solution Term แก่สมการ 2.12 จะได้ว่า

$$\frac{\partial U}{\partial t} = J \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial z} \quad (2.13)$$

จะได้ U ซึ่งเป็น Flux Variables เป็นคำตอบซึ่งสามารถนำไปหาค่าของ Primitive Variables

$$\begin{aligned} \rho &= \rho \\ u &= \frac{\rho u}{\rho} \\ v &= \frac{\rho v}{\rho} \\ w &= \frac{\rho w}{\rho} \\ e &= \frac{\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right)}{\rho} - \frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} \end{aligned}$$

ในกรณีที่มีการไหลเป็นแบบคงตัว (Steady state)

$$\frac{\partial U}{\partial t} = 0 \quad (2.14)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial F}{\partial x} = J - \frac{\partial G}{\partial y} - \frac{\partial H}{\partial z} \quad (2.15)$$

สมการที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแก้ปัญหาคารไหลได้ทุกชนิดๆ แต่คำตอบจะแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด ซึ่งแตกต่างกันไปแต่ละปัญหา

2.1.4 สมการพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) [2]

สมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนนั้น ประกอบไปด้วยสมการกฏทรงมวล และสมการโมเมนตัม เช่นเดียวกับการไหลแบบราบเรียบ แต่ด้วยลักษณะที่ต่างกันของการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน ที่ทำให้สมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนต่างจากสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบราบเรียบ โดยสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในการไหล ในทางวิศวกรรม สิ่งทีวิศวกรสนใจส่วนใหญ่คือค่าเฉลี่ยของการไหล ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำวิธีการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ (Reynolds averaging) มาใช้กับสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อแปลงสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วน ให้อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย โดยสมมุติฐานของงานวิจัยนี้ ได้แก่ เป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้, ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และเป็นสภาวะคงตัว สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

สมการกฏทรงมวล

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.16)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{\rho u_i' u_j'}) \quad (2.17)$$

โดยที่ μ คือค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด ρ คือความหนาแน่น สมการโมเมนตัมที่ถูกเฉลี่ยด้วยวิธีการของเรย์โนลด์ต่างจากสมการโมเมนตัมที่ยังไม่ได้ถูกเฉลี่ย เนื่องจากมีพจน์ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการใช้วิธีการเฉลี่ยของค่าเรย์โนลด์ คือ พจน์ความเค้นเรย์โนลด์ (Reynolds stresses) $\overline{u_i' u_j'}$ ซึ่งพจน์ที่เกิดขึ้นมาเป็นพจน์ที่เกิดจากค่าของความปั่นป่วนในรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นในสภาวะการต่าง ๆ ซึ่งพจน์ความเค้น เรย์โนลด์ จะมีรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการตามสมมุติฐานของ Boussinesq ดังนี้

$$-\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (2.18)$$

โดยที่ค่า Eddy viscosity (μ_t) เป็นความสัมพันธ์ของค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) และอัตราการลดลงของค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ϵ) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.19)$$

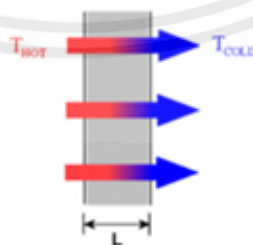
2.2 การถ่ายเทความร้อน [3]

ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่เราต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ในบทความนี้เราจะมาดูกันถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนได้แก่ นำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี รวมถึงงานที่เราสามารถวิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Solid Works ช่วยเราแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน เราสามารถใช้โมดูล Thermal และ Static ที่อยู่ในโปรแกรม Solid Works เพื่อวิเคราะห์ปัญหาเรื่องความร้อนและความแข็งแรงได้ โดยจะข้อยกตัวอย่างการแก้ปัญหาต่างๆ รูปแบบการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้

2.2.1 การนำความร้อน

เป็นรูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่มีตัวกลางอยู่กับที่ ดังรูปที่ 2.1 สำหรับงานของเราคือตัวโมเดล CAD ที่เราวาดขึ้นมาจะเป็นตัวกลางในการนำความร้อน การนำความร้อนจะถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปต่ำมีรูปและมีสมการ ดังนี้

$$Q_{CONDUCTION} = KA(T_{HOT} - T_{COLD}) / L \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.1 การนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การแผ่รังสี

เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องใช้ตัวกลาง เช่น ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนมายังโลก เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ความร้อน เช่น Heat sink จะมีทั้งการนำความร้อนและการพาความร้อน แต่เราจะไม่วิเคราะห์การแผ่รังสีเนื่องจากมีค่าน้อยมาก เราจะวิเคราะห์การแผ่รังสีกรณีที่มีความร้อนสูง มีสมการดังนี้

$$\varepsilon(T) \equiv \frac{E(T)}{E_b(T)}$$

สิ่งแวดล้อมและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์รังสีสิ่งแวดล้อมและแสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้กับปัญหาภายนอกและภายใน ในความจริงการแผ่รังสีของสิ่งแวดล้อมเป็นกระแสพลังงานที่ไม่ใช่ทิศทางที่สร้างขึ้นโดยผนัง ฟลักซ์นี้มีรังสีที่กำหนดไว้ล่วงหน้าพารามิเตอร์ตรงกันข้ามกับการแผ่รังสีของสิ่งแวดล้อม การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ถูกจำลองตามทิศทางฟลักซ์พลังงาน ดังนั้นการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จึงถูกกำหนดโดยการไหลของพลังงาน (ความเข้ม) และเวกเตอร์ทิศทาง นอกเหนือจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากโดเมนการคำนวณขอบเขตสามารถระบุแหล่งกำเนิดรังสีดวงอาทิตย์ที่เปล่งรังสีทิศทางได้ ซึ่ง สูตรคำนวณนี้เป็นสูตรที่ใช้ในโปรแกรม Solid Works

$$\vec{S} = [\vec{E} \cdot \sin \phi_s + \vec{N} \cdot \sin \phi_s] \cdot \cos \theta_s + \vec{Z} \cdot \sin \theta_s$$

2.2.4 การพาความร้อนตามธรรมชาติบนพื้นผิว [4]

การพาความร้อนตามธรรมชาติบนพื้นผิว ขึ้นอยู่กับรูปทรงของพื้นผิวตลอดจนการวางแนว นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความผันแปรของอุณหภูมิบนพื้นผิว และคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของของไหลที่เกี่ยวข้องแม้ว่าเราจะเข้าใจกลไกการพาความร้อนตามธรรมชาติเป็นอย่างดี แต่ความซับซ้อนของการเคลื่อนที่ของของไหลทำให้ยากมากที่จะได้ความสัมพันธ์เชิงวิเคราะห์อย่างง่ายสำหรับการถ่ายเทความร้อนโดยการแก่สมการของการเคลื่อนที่และพลังงาน

(Rayleigh number) Ra_L เกี่ยวข้องกับการไหลที่ขับเคลื่อนด้วยการลอยตัวหรือที่เรียกว่า การพาความร้อนอิสระหรือเป็นธรรมชาติ เป็นลักษณะของระบบการไหลของของเหลวค่าในช่วงที่ต่ำกว่าหมายถึง การไหลแบบลามินาร์ค่าในช่วงที่สูงกว่าไหลเชี่ยว ต่ำกว่าค่าวิกฤตที่แน่นอนไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหลและการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นการนำมากกว่าการพาความร้อน

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr \quad (2.21)$$

- เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
 β คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน
 Pr คือ การกระจายความร้อน

เลขนัสเซลต์ (Nusselt number) เป็นเทอมที่ไม่มีหน่วยนิยาม Nu เป็นอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของของไหลโดย Convection ต่อของอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของของไหลโดย Conduction

$$NuL = \frac{hl}{k} \rightarrow h = \frac{Nuk}{L} \quad (2.22)$$

- เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
 L คือ ความยาว
 และ T_F (Film Temperature) ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง อุณหภูมิพื้นผิว

$$T_F = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2.23)$$

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร เป็นสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวตามพื้นที่ของวัตถุ คือ พื้นที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เดิม และต่อหนึ่งองศาของอุณหภูมิของวัตถุที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียสหรือเคลวินก็ได้

$$\beta = \frac{1}{T_F} \quad (2.24)$$

Vertical plates ($T_s = \text{constant}$) สำหรับแผ่นแบนแนวตั้ง ความยาวเฉพาะคือความสูงของแผ่น L สำหรับ Nusselt number เฉลี่ยสำหรับเพลตแนวตั้งที่มีอุณหภูมิความร้อน เนื่องจากใช้ได้กับ Nusselt number ทั้งหมด ความสัมพันธ์นี้แม่นยำที่สุดในช่วง $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

Vertical plates ($\dot{q}_s = \text{constant}$) ในกรณีของฟลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวคงที่ จะทราบอัตราการถ่ายเทความร้อน ความสัมพันธ์ของ Nusselt number สำหรับอุณหภูมิพื้นผิวคงที่และกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของความร้อนที่พื้นผิวคงที่นั้นเกือบจะเหมือนกันดังนั้น ความสัมพันธ์ของเพลต isothermal ยังสามารถใช้สำหรับเพลตที่มีฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอ โดยที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางเพลตในการประเมินอุณหภูมิของฟิล์ม Rayleigh number และ Nusselt number โดยที่ Nusselt number เฉลี่ยในกรณีนี้สามารถเป็น

$$Nu = \frac{hL}{k} = \frac{\dot{q}_s L}{k(T_{L/2} - T_\infty)} \quad (2.25)$$

Inclined plates เมื่อตรงตามเกณฑ์นี้ ความสัมพันธ์ของเพลตแนวตั้งก็สามารถนำมาใช้กับกระบอกสูบแนวตั้งได้เช่นกัน ความสัมพันธ์ Nusselt number ของเพลตเอียง แรงนี้สามารถแก้ได้เป็นสองส่วน ได้แก่ $F_y = F \cos \theta$ ขนานกับเพลตที่ขับเคลื่อนการไหลไปตามเพลต และ $F_y = F \sin \theta$ ปกติไปยังเพลต สังเกตว่าแรงที่ขับเคลื่อนการเคลื่อนที่ลดลง เราคาดว่ากระแสการพาความร้อนจะอ่อนลง และอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็น Lower ที่สัมพันธ์กับเคสเพลตแนวตั้ง

Horizontal plates อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้า หรือออกจากพื้นผิวแนวนอนขึ้นอยู่กับว่าพื้นผิวหันขึ้นหรือลง สำหรับพื้นผิวที่ร้อนในสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่าแรงสุทธิกระทำขึ้นด้านบนบังคับให้ของเหลวที่ให้ความร้อนสูงขึ้นหากพื้นผิวที่ร้อนหงายขึ้นของไหลที่ให้ความร้อนจะลอยขึ้นอย่างอิสระทำให้เกิดกระแสการพาความร้อนตามธรรมชาติอย่างแรง และทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าพื้นผิวที่ร้อนคว่ำลง เพลตจะปิดกั้นของเหลวที่ให้ความร้อนที่มีแนวโน้มจะสูงขึ้น (ยกเว้นบริเวณใกล้ขอบ) ซึ่งขัดขวางการถ่ายเทความร้อนสิ่งที่ตรงกันข้ามกับงานเย็นในสภาพแวดล้อมที่อุ่นกว่า เนื่องจากแรงสุทธิ (น้ำหนักลบด้วยแรงลอยตัว) ในกรณีนี้จะลดการทำงานลงและของเหลวหล่อเย็นที่อยู่ใกล้แผ่นมีแนวโน้มลดลง

Nusselt number เฉลี่ยสำหรับพื้นผิวแนวนอนสามารถกำหนดได้จากความสัมพันธ์ของกฎกำลังและกฎเกณฑ์อย่างง่ายที่ ความยาวลักษณะเฉพาะสำหรับพื้นผิวแนวนอนคำนวณจาก

$$L_c = \frac{A_s}{p} \quad (2.26)$$

เมื่อ A_s คือ พื้นผิวและ

p คือ perimeter

$L_c = a / 4$ พื้นผิวสี่เหลี่ยมแนวนอนที่มีความยาว a

$D / 4$ สำหรับพื้นผิววงกลมแนวนอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D

กฎการระบายความร้อนของนิวตัน (Newton's law of cooling) กล่าวว่า อัตราการสูญเสียความร้อนของวัตถุร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมนั้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุร้อนกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$Q = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2.27)$$

เมื่อ h	คือ การพาความร้อน
A_s	คือ พื้นที่ผิว
T_s	คือ อุณหภูมิพื้นผิว
T_∞	คือ อุณหภูมิของอากาศ

2.3 ความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหล [5]

ความเร็ว (Velocity) คือ ระยะทางของการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นหน่วยของความเร็วในระบบ SI คือ m/s ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของของไหลภายในท่อ จะไม่เท่ากันตลอดทั้งภาคตัดที่ของไหลผ่าน เนื่องจากมีความเสียดทานของผนังท่อ ซึ่งของไหลตำแหน่งที่ใกล้กับผนังท่อ จะมีความเร็วต่ำกว่าของไหลที่มีตำแหน่งที่ห่างผนังออกมา และตำแหน่งกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด ดังรูป



รูปที่ 2.2 ความเร็วเฉลี่ยในท่อ

ดังนั้นในการคำนวณค่าความเร็ว จึงคิดความเร็วเฉลี่ยจากสมการดังนี้

$$V = QA \quad (2.28)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยในการไหล (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)

อัตราการไหล (Flow rate) หมายถึง “ปริมาตรของของไหลที่เคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา” ซึ่งปริมาณการไหลที่กำลังเคลื่อนที่อาจจะแสดงใน 3 รูปแบบ คือ Q อัตราการไหลโดยปริมาตร (Volume flow rate) ซึ่งเป็นการไหลของของไหลโดยปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลา (m^3/s) W อัตราการไหลโดยน้ำหนัก (Weight flow rate) ซึ่งเป็นการไหลของของไหลโดยน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยเวลา (N/s) M อัตราการไหลโดยมวล (Mass flow rate) ซึ่งเป็นการไหลของของไหลโดยมวลต่อหนึ่งหน่วยเวลา (kg/s)

อัตราการไหลโดยปริมาตร (Q)

$$Q = Av \quad (2.29)$$

อัตราการไหลโดยน้ำหนัก (W)

$$W = \gamma \cdot A \cdot v = \gamma \cdot Q \quad (2.30)$$

เมื่อ W คือ อัตราการไหลโดยน้ำหนัก (N/s)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m^3)

Q คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/s)

2.4 การไหลแบบลามินาร์ (laminar flow) [6]

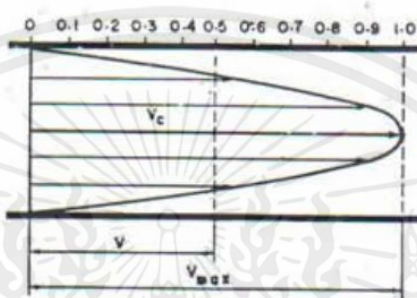
เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ขนานกันไปคล้ายๆ กับการไหลเป็นชั้นๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ๆ กันมีค่าไม่เท่ากัน แต่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย การไหลลามินาร์เป็นไปตามกฎของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ angular deformation ซึ่งก็คือผลคูณของความหนืดของของไหลกับ velocity gradient นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = \mu(dv/dy) \quad (2.31)$$

การไหลของของไหลจริงแบบลามินาร์ในท่อกลมมี velocity profile เป็นรูปพาราโบลา ดังภาพที่ 1.5 ความเร็วในการไหลสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดกลางท่อ ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

$$V_c = V_{max} = \frac{hLY}{4\mu L} r_0^2 = \frac{hLY}{16\mu L} D^2 \quad (2.32)$$



รูปที่ 2.3 velocity profile ในการไหลลามินาร์

เมื่อพิจารณาปริมาณของของไหลตั้งรูปซึ่งเป็น paraboloid มีส่วนสูง V_{max} ความสูงเฉลี่ยของ paraboloid นี้คือครึ่งหนึ่งของความสูง ดังนั้นความเร็วเฉลี่ย $0.5V_{max}$ คือ เพราะฉะนั้น

$$V = \frac{hLY}{32\mu L} D^2 \quad (2.33)$$

เมื่อ V เป็นความเร็วเฉลี่ยของของไหล หน่วย m/s

h^1 เป็น head loss ที่เกิดขึ้น หน่วย m

γ เป็นน้ำหนักจำเพาะของของไหล หน่วย N/m^3

μ เป็นความหนืดของของไหล หน่วย Pa.s

L เป็นความยาวท่อที่เกิดขึ้น หน่วย head loss m

D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ หน่วย m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การไหลแบบเทอร์บิวเลนซ์ (turbulent flow) [6]

เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาด และทิศทางความเค้นเฉือนสำหรับการไหลเทอร์บิวเลนซ์สามารถเขียนได้ในรูป

$$\tau = (\mu + \eta) \frac{dv}{dy} \quad (2.34)$$

การไหลของของไหลจริงแบบเทอร์บิวเลนซ์ในท่อกลมแตกต่างไปจากการไหลลามินาร์มาก ความเร็วของของไหลที่มีรัศมี r ใดๆในท่อกลมสามารถหาได้จากสมการ

$$u = (1 + 1.33\sqrt{f})V - 2.04\sqrt{f}V \log \frac{r_0}{(r_0-r)} \quad (2.35)$$

เมื่อ u เป็นความเร็วที่รัศมีใดๆ หน่วย m/s

f เป็นตัวประกอบความเสียดทาน ไม่มีหน่วย

V เป็นความเร็วเฉลี่ย หน่วย m/s

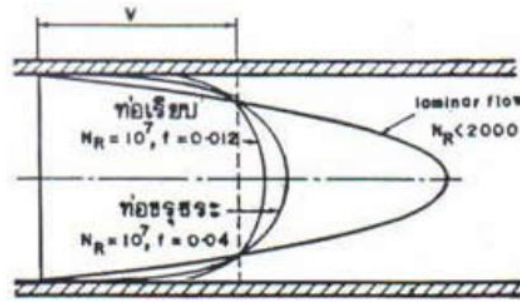
r^0 เป็นรัศมีภายในท่อ หน่วย m

r เป็นรัศมีใดๆ ที่ต้องการหาความเร็ว หน่วย m

นำเอาค่า U จากสมการ 2.26 มาพล็อตหาค่า velocity profile จะได้ดังภาพที่ 1.6 Darcy – Weisbach ได้ทำการทดลองหาค่า head loss พบว่าเมื่อเป็นการไหลของเทอร์บิวเลนซ์ในท่อกลมค่า head loss ที่เกิดขึ้น เป็นไปตามสมการ

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 velocity profile สำหรับอัตราการไหลเท่ากัน

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้สมการนี้ก็คือ ต้องหาค่า f มาใช้ในการคำนวณ Nikuradse วิศวกรชาวเยอรมันได้ทำการทดลองหาค่าตัวประกอบความเสียดทาน f โดยใช้ท่อภายในด้วยเม็ดทรายขนาดต่างๆแล้วให้ของไหลไหลผ่านท่อ พบว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานเป็นฟังก์ชันของความขรุขระสัมบูรณ์ของผนังท่อ ε กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ นั่นคือ

$$f = \phi(N_R, \varepsilon/D) \quad (2.37)$$

ค่า ε/D เรียกว่าค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (relative roughness) Von Karman ได้ใช้ผลการทดลองของ Nikuradse กับสมการ

$$\delta_1 = \frac{0.83v}{v\sqrt{f}} \quad (2.38)$$

มาเขียนสมการสำหรับหาค่าตัวประกอบความเสียดทาน ในแต่ละกรณีดังนี้
การไหลเทอร์บิวเลนทีในท่อเรียบ $\delta_1 > 5\varepsilon$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(N_R \sqrt{f}) - 0.8 \quad (2.39)$$

การไหลเทอร์บิวเลนทีในท่อขรุขระ $\delta_1 < 0.3\varepsilon$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{\varepsilon} + 1.14 \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีการอบแห้ง [7]

การอบแห้ง (Drying) คือการกำจัดความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในวัสดุให้ลดลงจนมีความชื้นอยู่ในปริมาณที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา และมีค่าอีกค่าหนึ่งซึ่งเรามักจะพบอยู่เป็นประจำคือ การทำแห้ง (Dehydration) ซึ่งเป็นการกำจัดความชื้นหรือน้ำออกจากวัสดุจะกระทั่งวัสดุนั้นไม่มีความชื้น หรือเข้าใกล้มวลแห้ง การอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความเหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญและต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืช ผลไม้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่ม ผัก สมุนไพร เป็นต้น

การอบแห้งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยพฤติกรรมการอบแห้งที่ใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกจากวัสดุ เมื่อสมมติให้อุณหภูมิความชื้นและความเร็วของ อากาศเหนือผิวของวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการและมีการถ่ายเทความร้อนสู่วัสดุโดยการ พาความร้อน การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตลอดกระบวนการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปที่ใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็ว

นั้น มีปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ

1) ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของวัสดุถ้าสภาพทางธรรมชาติของวัสดุเอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำภายใน เนื้อวัสดุ และเอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำออกจากวัสดุ เช่น วัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนโมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสามารถเคลื่อนที่ออกมาได้ง่ายทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่างของวัสดุวัสดุที่มีขนาด และรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรมากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนให้ทั่วชิ้นวัสดุทำให้การระเหยน้ำออกจากเนื้อวัสดุดีขึ้นอัตราการอบแห้งจึงเร็วขึ้น

3) ปริมาณและการจัดเรียงวัสดุวัสดุที่นำมาจัดเรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นในถาดทำให้ปริมาณของวัสดุต่อถาดมากเกินไป จะทำให้วัสดุที่อยู่บริเวณตรงกลางได้รับความร้อนไม่ทั่วถึง ทำให้บริเวณนั้นมีอัตราการอบแห้งที่ช้า การจัดเรียงที่เหมาะสมควรทำการจัดเรียงเป็นแบบชั้นบางเพื่อให้วัสดุได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

4) อุณหภูมิของอากาศร้อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับวัสดุมีมากทำให้การถ่ายเทความร้อนสู่น้ำในเนื้อวัสดุได้ดีจึงทำให้น้ำในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่และระเหยได้เร็วขึ้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น แต่ก็ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

5) ความชื้นของอากาศร้อน หากความชื้นของอากาศร้อนมีค่ามากจะมีผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากเนื้อวัสดุได้ยาก

6) ความดันของบรรยากาศ การอบแห้งโดยทั่วไปมักทำที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ ถ้าหากมีการลดความดันของบรรยากาศในขณะที่ทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะทำให้จุดเดือดของน้ำลดลง ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้เหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่เสื่อมคุณภาพได้ง่าย เนื่องจากความร้อนเครื่องอบแห้งมีการลดความดันในสภาวะการอบแห้งเช่น เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบลูกกลิ้ง (Vacuum Drum Drier) เป็นต้น

7) ความเร็วลมร้อน ถ้าความเร็วของลมร้อนมีค่ามากจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าวัสดุได้ดีขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

8) สมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของวัสดุคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งคือ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน และการแพร่ความร้อน ส่วนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่นจริง ความหนาแน่นปรากฏ และสัดส่วนช่องว่างอากาศในกองวัสดุ

$$a_w = \frac{P}{P_o} \quad (2.41)$$

หรือ

$$a_w = \frac{\text{ความชื้นสัมพัทธ์}}{100} \quad (2.42)$$

เมื่อ P คือ ความดันไอน้ำวัสดุ

P_o คือ ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การจำลองการไหลของอากาศ

ภัทรฤทัย คำแสง, ชนวิรัตน์ นิทัศน์วิจิตร, จาตุพงศ์ วาฤทธิ และสมเกียรติ จตุรงค์ลำเลิศ [8] เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้จำนวนกริดในการทำนายผลค่าตอบของแบบจำลองการไหล โดยค่าความเร็วอากาศภายในห้องเย็นมีความแตกต่าง ซึ่งสามารถนำไปจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบต่างๆ ทำให้ผลของการจำลองการไหลของอากาศก่อนการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอในแต่ละระนาบเนื่องจากการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับช่องปล่อยอากาศ และผลการจำลองการไหลของอากาศหลังการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้อยู่ตรงบริเวณช่องปล่อยอากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วถึงเพราะอากาศไหลเวียนได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น จากผลวิจัยดังกล่าวการปรับเปลี่ยนการจัดวางสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบอื่นๆ และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของช่องปล่อยอากาศของทางโรงงานให้เหมาะสมขึ้น

2.7.2 พฤติกรรมการไหลของอากาศ

ฉันทบูรณ ฉาวรรณ, เขาวฤทธิ วันเสาร์ [9] ในการวิจัยนี้ได้การศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และเปรียบเทียบผลการทดลองกับการทดลองจริงในอุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำของระบบทำความเย็นแบบระเหยตามแบบมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 Standard Methods for Laboratories Air Flow Measurement โดยในส่วนของกรสร้างแบบจำลอง CFD จะมีเงื่อนไขแบบ 2 มิติ และเป็นการจำลองในส่วนของบริษัททดสอบของอุโมงค์ลม โดยมีการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณของการกระจายตัวของความเร็วการไหลของอากาศ, เลขเรย์โนลด์ และค่าความดันต่างๆ แต่ผลของพฤติกรรมกรไหลของอากาศในขอบเขตแบบปั่นป่วนนี้จะมีผลต่อการไหลของการไหลของอากาศภายในห้องด้วย โดยจะเกิดค่าความดันต่างที่สูงและจะสูงมากขึ้นถ้ามีการเพิ่มระยะทางของท่อของอุโมงค์ลม และผลที่ได้ตามมาคือที่ปลายท่อขาออกของอุโมงค์ลมจะมีอัตราการไหลของอากาศที่ลดลง

2.7.3 การวิเคราะห์ความเร็วลมในห้องอบแห้ง

ดริลพร ประดิ่งทะสา, เนวลี เวียงนิล, สุธรรม ชาวจิว และนัฐพร ไชยญาติ [10] ได้ทำการพิจารณาลักษณะความเร็วลมการกระจายตัวที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งชั้นตะแกรง เมื่อพิจารณาลักษณะความเร็วลมที่กระจายตัวบริเวณพื้นที่ติดตั้งชั้นตะแกรงเพื่อใช้ในการอบแห้งมีลักษณะการกระจายตัวได้ดี ดังรูปที่ 2.6 และมีความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 2.5 ลักษณะความเร็วลมภายในห้องอบแห้ง

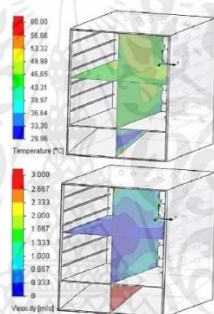
2.7.4 การจำลองอุณหภูมิของอากาศในตู้อบแห้ง

ปรเมนทร์ มาลีหวล และอดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์ [11] เป็นการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในตู้อบแห้ง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งแบบปรับรังสีโดยตรง ที่มีการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วย CFD กับผลการทดลองจริง และได้ทำการศึกษา 2

กรณีคือกรณีแรกจำลองโดยกำหนดให้ผิวใต้กระจกมีอุณหภูมิคงที่และในกรณีที่สองกำหนดให้ใต้ผิวกระจกมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ภายในห้องทดลองเพื่อควบคุมตัวแปรที่มีผลกระทบกับการทดลอง จากการศึกษาพบว่าลักษณะการไหลของอากาศภายในตู้อบแห้ง ความเร็วของอากาศร้อนที่ออกจากตู้อบแห้ง และการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง ที่ได้จากการจำลองด้วย CFD ในกรณีที่กำหนดให้ใต้ผิวกระจกมีอุณหภูมิคงที่ มีความเหมาะสมในการที่จะนำมากำหนดในการจำลองการไหลของอากาศภายในตู้อบแห้งมากกว่าในกรณีกำหนดให้ใต้ผิวกระจกมีฟลักซ์ความร้อนคงที่

2.7.5 พัฒนาเครื่องอบแห้ง

นิปุ่น วิวัฒน์ธนสา, กิตติชัย บุฑารธา, เจษฎา กิจศรีนภดล และมงคล เทียนวิบูลย์ [12] เป็นการจำลองและปรับปรุงเพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 2.7 เป็นการนำแบบที่มีการกระจายลมที่ดีที่สุดมาจำลองซ้ำๆ เพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงหรือดีที่สุด เพื่อนำมาพัฒนาเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเครื่องอบแห้งเดิม



รูปที่ 2.6 อุณหภูมิและความเร็วลมภายในเครื่องอบแห้ง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นเพื่อนำมาเป็นตัวอย่งในการศึกษาพฤติกรรมในการไหลของอากาศและอุณหภูมิโดยการสร้างแบบจำลอง CFD ของแบบตู้อบแห้งซึ่งสามารถนำมาจำลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการกระจายของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในตู้อบและทำการเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับผลการทดลองจริงให้มีความแม่นยำเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษาในการปรับปรียบรูปแบบโมเดลเพื่อหาความต่างของการกระจายของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในตู้อบ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลอง

3.1.1 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้เป็นต้นแบบในการทำโมเดลตัวตู้อบมีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 80 x 80 เซนติเมตร และมีความสูงเท่ากับ 120 เซนติเมตร ด้านล่างของตู้อบเป็นท่อทรงกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ด้านบนของตู้อบเป็นปล่องสี่เหลี่ยมมีลักษณะเป็นตัวแอลขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 14 x 14 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร และยาว 52 เซนติเมตร ภายในตู้อบติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งหมด 10 ตัว โดยจะติดตั้งไว้ที่ท่อทางเข้าตู้อบ 1 ตัว ภายในตู้อบติดตั้งไว้ 4 ชั้นโดยติดตั้งชั้นละ 2 ตัว และที่ปล่องทางออกตู้อบ 1 ตัว วัสดุที่ใช้ทำผนังตู้อบและปล่องทางออก คือ แผ่นโพลีคาร์บอเนตที่เป็นสีใส ส่วนแผ่นใต้ตู้อบเป็นเหล็กแผ่น และท่อทางเข้าตู้อบเป็นท่อสแตนเลส ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

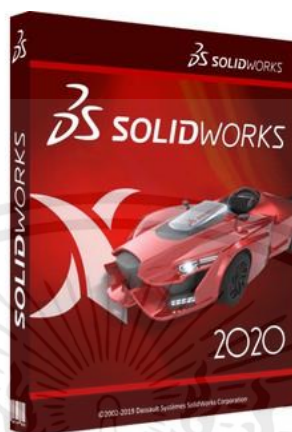
3.1.2 โน้ตบุ๊ก เป็นไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก หรือขนาดพกพา หรือในบางครั้งเรียกว่าขนาดสมุดโน้ต เพราะสามารถพกพาติดตัวไปที่ต่าง ๆ ได้สะดวก ใช้ได้ทั้งกับไฟบ้านและแบตเตอรี่คามีน้ำหนักประมาณ 1.5 - 3 กิโลกรัม จอภาพแสดงผลเป็นแบบราบชนิดมีทั้งแบบแสดงผลสีเดียว หรือแบบหลายสี ใช้ในการทำงานของตัวโปรแกรม Solid works 2020 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โน้ตบุ๊ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 โปรแกรม Solid works 2020 ใช้ในการจำลองโมเดล Solid works เป็นโปรแกรมเขียนแบบและออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงาน ออกแบบผลิตภัณฑ์ออกแบบเฟอร์นิเจอร์และออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล 3 มิติ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โปรแกรม Solid works 2020

3.1.4 โปรแกรม Solid works Flow simulation 2020 ใช้ในการวิเคราะห์การไหลภายในโมเดล SOLIDWORKS Flow Simulation (CFD) คือ ซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลและแสดงผลลัพธ์เป็นค่าตัวเลข, เกรดสี, หรือภาพเคลื่อนไหว ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของของไหลได้ง่ายขึ้นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โปรแกรม Solid works Flow simulation 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

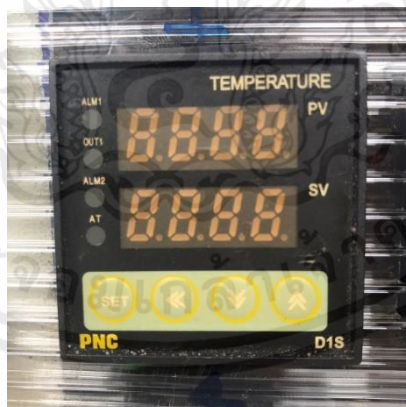
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า

3.2.1 Thermo couple Probe type K เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Thermo couple Probe type K

3.2.2 Temperature display เป็นอุปกรณ์แสดงผลค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งจุดต่างๆ ที่ได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเอาไว้การอ่านค่าอุณหภูมิจะปรากฏขึ้นอัตโนมัติที่เข้าบนหน้าจอ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Temperature display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิขนาดเล็กสามารถยึดติดตั้งใช้งานแบบ 3 ขาเพื่อเปิดฝาลอกที่ 90 องศา หรือยึดให้ตรง 180 องศา เพื่อเปิดเต็มที่ สามารถเลือกวัดเป็น C หรือ F ก็ได้ และยังมีฟังก์ชันการคงค่าข้อมูล (DATA HOLD) ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความเร็วลมขนาดเล็ก

3.2.4 Thermometer แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง เป็นอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์ (ความชื้นในอากาศ) โดยเทอร์โมมิเตอร์ฝั่งทางซ้ายมือให้วัดอากาศโดยปกติทุกๆไป เรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง ส่วนทางขวามือเป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่พันด้วยผ้าขาวบางหรือผ้าที่บางมากๆเปียกน้ำตรงปลายกระเปาะและให้ปลายผ้าจุ่มลงไปใต้น้ำ เรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

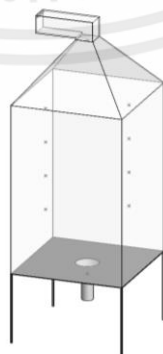
3.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ INFRARED THERMOMETER ใช้ในการวัดอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุที่เราต้องการรู้มีหน่วยที่ใช้ในการวัดเป็น $^{\circ}\text{C}$ และ $^{\circ}\text{F}$ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดอุณหภูมิ INFRARED THERMOMETER

3.3 การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข

การคำนวณเชิงตัวเลขขั้นแรกจะต้องสร้างโดเมนในการคำนวณขึ้นมาก่อน ในการวิจัยนี้ได้สร้างโดเมนที่มีลักษณะเป็นตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ เฉพาะบริเวณที่สนใจในที่นี้จะจำลองเฉพาะภายในตู้อบ โดยมีลักษณะความคล้ายคลึงทางด้านขนาด และรูปร่างที่เหมือนกับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของจริง ใช้วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ในสามมิติโดยใช้ Solid works Flow simulation ช่วยในการจำลองแบบส่วนเงื่อนไขขอบเขต ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แบบจำลองและเงื่อนไขขอบเขตตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สมมติฐานและขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง

การจำลองแบบกระจายอุณหภูมิในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้นำเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองในช่วงเวลาตอน 14.30 น. ที่ทำการทดลองจริงมาทำการจำลองในโปรแกรม เพื่อนำผลที่ได้จากการจำลองมาทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงโดยกำหนดให้อยู่ภายใต้สมมติฐานดังนี้ 1. อัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าตู้โดยการไหลเป็นแบบ Lamina and Turbulent. 2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิอากาศภายนอก 3. อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุ 4. การกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบ โดยตู้อบมีขนาด กว้าง x ยาว = 80 cm x 80 cm และความสูง 120 cm โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้าตู้ด้านล่าง 7.62 cm ด้านบนของตู้อบเป็นปล่องสี่เหลี่ยม มีลักษณะเป็นตัวแอลขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 14 x 14 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร และยาว 52 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าทั่วไปที่ใช้พิจารณาอุณหภูมิและความเร็วของแบบจำลองแบบการไหลภายใน (Internal flow)

Data	Values	Unit
Heat conduction in solid		-
Radiation Environment temperature	36.5	°C
Gravity X component Y component Z component	0 -9.81 0	m/s ² m/s ² m/s ²
Fluid Air (Gases)	Lamina and Turbulent	-
Default outer wall thermal condition Heat transfer coefficient Temperature of external fluid	Heat transfer coefficient 4.95 38.84	w/m ² /k °C
Thermodynamic parameter Pressure Temperature Initial solid Temperature	101325 36.5 36.5	Pa °C °C

3.5 ข้อมูลที่ป้อนเพื่อใช้พิจารณาอุณหภูมิและความเร็วของแบบจำลองแบบการไหลภายใน (internal flow)

- 3.5.1 Solid materials
1. ท่อด้านล่างเลือกเป็น Steel Stainless 302 และ Radiation Transparency แบบ Opaque
 2. ผนังด้านล่างเลือกเป็น Steel (Mild) และ Radiation Transparency แบบ Opaque
 3. ตู้อบเลือกเป็น ABS PC และ Radiation Transparency แบบ Transparent. Thermal only

- 3.5.2 Boundary condition
1. ที่ทางออกตู้เลือกเป็น Environment pressure
 2. อัตราการไหลที่ท่อทางเข้าตู้ใช้เป็น Inlet volume flow $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$
 3. อุณหภูมิอากาศ $45 \text{ }^\circ\text{C}$

- 3.5.3 Heat sources
1. ที่ผนังตู้เลือกเป็น Heat generation rate 14.83 w
 2. ที่หลังคาตู้เลือกเป็น Heat generation rate 155.28 w
 3. ที่ผนังด้านล่างเลือกเป็น Heat generation rate 23.7 w

- 3.5.4 Radiation sources เลือกเป็น Diffusive source ที่อุณหภูมิ 309.5 k

3.6 การคำนวณค่า Heat generation rate (Q)

อัตราการสูญเสียความร้อนของวัตถุร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมนั้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุร้อนกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ซึ่งการคำนวณหาค่า Heat generation rate นี้ เพื่อที่จะนำค่ามาใช้ในการป้อนข้อมูลในโปรแกรม Solid works Flow simulation เพื่อใช้พิจารณาอุณหภูมิของไหลภายในตู้

3.6.1 วิธีการหาค่า Q ของผนังตู้

$$\begin{aligned} \text{หา } T_f &= \frac{T_s + T_\infty}{2} \\ &= \frac{(43.25 + 36.5)}{2} \\ &= 39.87 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } \beta &= \frac{1}{T_f} \\ &= \frac{1}{312.87} \\ &= 3.19 \times 10^{-3} \text{ k}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{หา } Ra_t = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{(9.81)(3.19 \times 10^{-3})(43.25 - 36.5)(1.2)^3}{(1.700 \times 10^{-5})^2} (0.7255)$$

$$= 916.3 \times 10^6$$

$$\text{หา } Nu = \left\{ 0.825 + \frac{[0.38RaL]^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$$

$$= \left\{ 0.825 + \frac{0.387(916.3 \times 10^6)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left[\frac{0.492}{0.7255}\right]^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$$

$$= 103.37$$

$$\text{หา } Nu = \frac{hl}{k} \rightarrow h = \frac{Nuk}{L}$$

$$= \frac{103.37(0.02661)}{1.2}$$

$$= 2.29 \text{ w/m}^2/\text{°C}$$

$$\text{หา } Q = hA_s(T_s - T_\infty)$$

$$= (2.29)(0.96)(43.25 - 36.5)$$

$$= 14.83 \text{ W}$$

3.6.2 วิธีการหาค่า Q ของผนังใต้ตู้

$$\text{หา } T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$= \frac{(40 + 36.5)}{2}$$

$$= 38.25 \text{ °C}$$

$$\text{หา } \beta = \frac{1}{T_f}$$

$$= \frac{1}{311.25}$$

$$= 3.21 \times 10^{-3} \text{ k}^{-1}$$

$$\text{หา } Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{(9.81)(3.21 \times 10^{-3})(40-36.5)(0.2)^3}{(1.685 \times 10^{-5})^2} (0.7259)$$

$$= 2.255 \times 10^6$$

$$\text{หา } Nu = 0.54 Ra^{1/4}$$

$$= 0.54 (2.255 \times 10^6)^{1/4}$$

$$= 20.9$$

$$\text{หา } Nu = \frac{hl}{k} \rightarrow h = \frac{Nuk}{L}$$

$$= \frac{20.9(0.02649)}{0.2}$$

$$= 10.62 \text{ w/m}^2/\text{°C}$$

$$\text{หา } Q = hA_s(T_s - T_\infty)$$

$$= (10.62)(0.64)(40-36.5)$$

$$= 23.7 \text{ W}$$

3.6.3 วิธีการหาค่า Q ของหลังคาตู้

$$\text{หา } T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2}$$

$$= \frac{(38.4+36.5)}{2}$$

$$= 37.45 \text{ °C}$$

$$\text{หา } \beta = \frac{1}{T_f}$$

$$= \frac{1}{310.45}$$

$$= 3.22 \times 10^{-3} \text{ k}^{-1}$$

$$\text{เมื่อ } \cos \theta = \cos (39.5)$$

$$\text{หา } Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr$$

$$= \left[\frac{(9.81)(\cos 39.5)(3.22 \times 10^{-3})(38.4-36.5)(0.52)^3}{(1.671 \times 10^{-5})^2} \right] (0.7263)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 16.93 \times 10^6$$

$$\text{หา Nu} = \left\{ \frac{(0.68+0.670)(16.93 \times 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.7263} \right)^9 \right]^{\frac{4}{9}} \right]} \right\}$$

$$= 66.63$$

$$\text{หา Nu} = \frac{hl}{k} \rightarrow h = \frac{Nuk}{L}$$

$$= \frac{(0.02638)(66.63)}{0.52}$$

$$= 3.38 \text{ w/m}^2/\text{°C}$$

$$\text{หา Q} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

$$= (3.38)(24.18)(38.4 - 36.5)$$

$$= 155.28 \text{ W}$$

เมื่อ

β คือ การขยายปริมาณ $1/k$

T_f คือ อุณหภูมิฟิล์ม $^{\circ}\text{C}$

R_a คือ หมายเลขเรย์ลี

L คือ ความยาวของผนังราบ m

T_s คือ อุณหภูมิพื้นผิว k หรือ $^{\circ}\text{C}$

Pr คือ ความดันสัมพัทธ์

V คือ ความเร็วลม m/s

G คือ ค่าเฉพาแรงโน้มถ่วง m/s^2

Nu คือ อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน $\text{w/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

k คือ ค่าการนำความร้อน $\text{w/m} / ^{\circ}\text{C}$

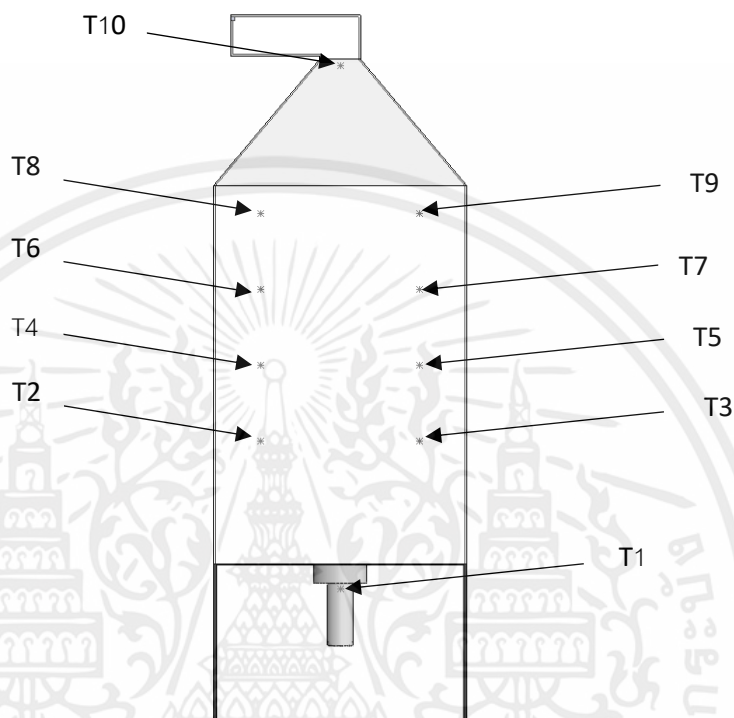
Q คือ การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด w

A_s คือ พื้นที่ผิว m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ

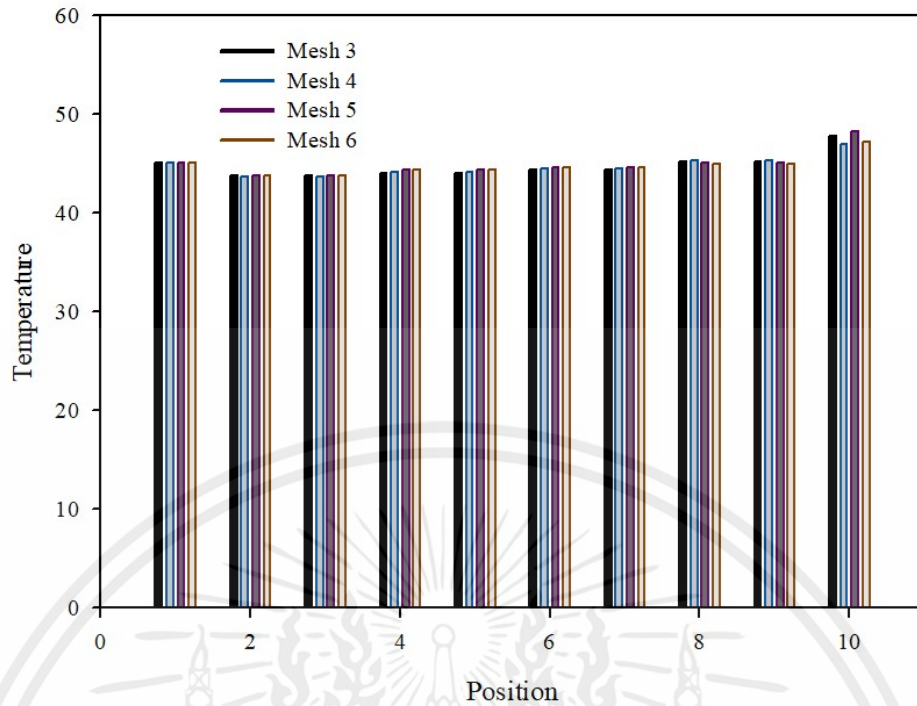
ในงานวิจัยนี้ได้วัดอุณหภูมิภายในของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และได้นำข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดได้สำหรับกำหนดเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง คือ อุณหภูมิทางเข้า อุณหภูมิทางออก อุณหภูมิในตู้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

3.8 การตรวจสอบความแม่นยำของ mesh

แบบจำลองภายในตู้อบซึ่งในการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบเป็นการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Solid works Flow simulation โดยระดับ mesh automatic ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ mesh automatic ระดับที่ 3 ที่มี 22,298 fluid cell ในระนาบแกน xy จนถึง mesh automatic ระดับที่ 6 มี 163,648 fluid cell ซึ่ง mesh ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ mesh automatic ระดับที่ 5 ให้ความแม่นยำและได้ทำการเทียบจำนวน mesh ในระนาบแกน xy ที่มากกว่านี้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานกว่าแล้วส่งผลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำที่ระดับ mesh ต่างๆ

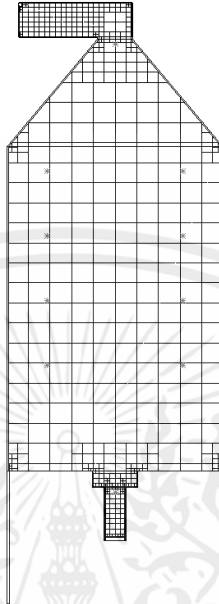
ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบระดับ mesh ต่างๆกับ fluid cell

ระดับ mesh	จำนวน fluid cell
3	20988
4	31143
5	43398
6	163648

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

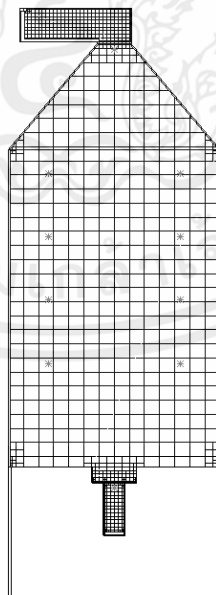
3.8.1 การแสดงระดับ mesh ที่ใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์

1. การแสดงระดับ mesh 3 ที่มี fluid cell เท่ากับ 20988 ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.14 ระดับ mesh 3 ที่มี fluid cell เท่ากับ 20988

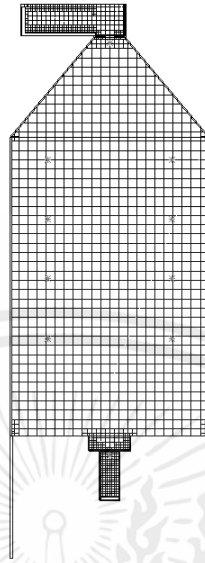
2. การแสดงระดับ mesh 4 ที่มี fluid cell เท่ากับ 31143 ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.15 ระดับ mesh 4 ที่มี fluid cell เท่ากับ 31143

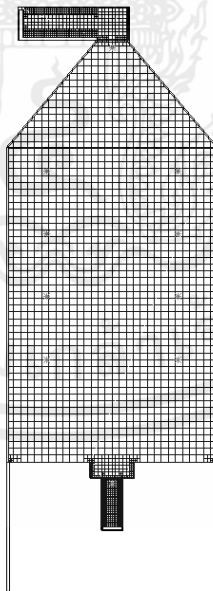
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแสดงระดับ mesh 5 ที่มี fluid cell เท่ากับ 43398 ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.16 ระดับ mesh 5 ที่มี fluid cell เท่ากับ 43398

4. การแสดงระดับ mesh 6 ที่มี fluid cell เท่ากับ 163648 ดังรูปที่ 3.16

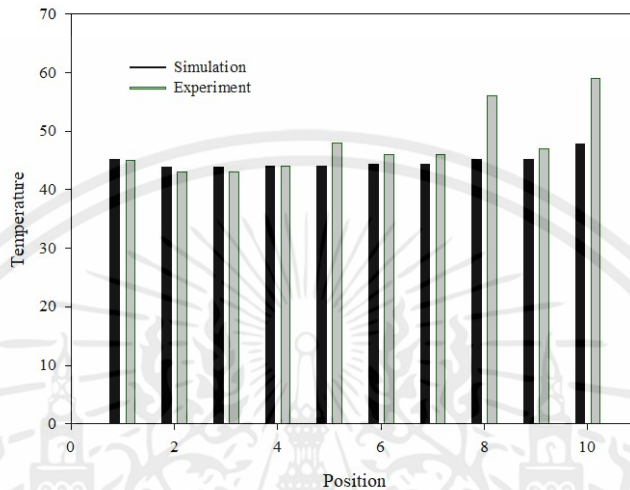


รูปที่ 3.17 ระดับ mesh 6 ที่มี fluid cell เท่ากับ 163648

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากผลการจำลองกับผลการทดลองจริง

ผลการจำลองอุณหภูมิภายในตู้อบช่วงเวลา 14.30 น. เมื่อนำผลการจำลองแบบกับผลการทดลองจริงมาทำการเปรียบเทียบ อุณหภูมิทั้งสอง พบว่าผลการจำลองแบบมีค่าอุณหภูมิ เฉลี่ยเท่ากับ 44.32 องศาเซลเซียสและผลการทดลองจริงมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 47.7 องศาเซลเซียส ผลต่างของอุณหภูมิ 3.38 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.13

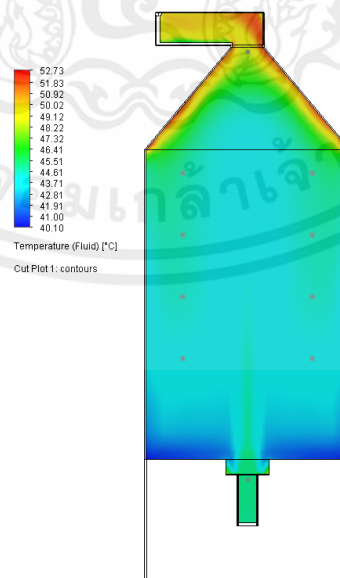


รูปที่ 3.18 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างผลการทดลองจริงกับผลการจำลอง

3.10 การแสดงผลการจำลอง

แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

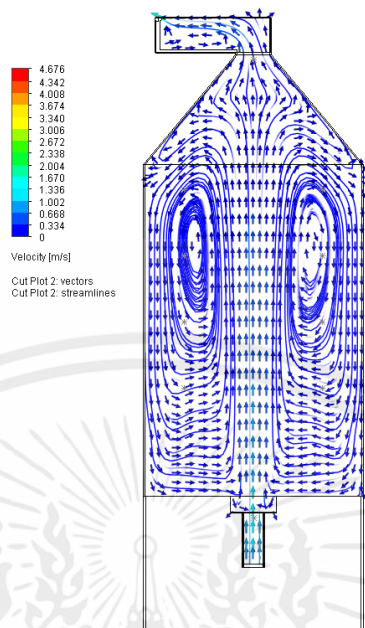
3.10.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.19 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.2 การแสดงเวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบ ดังรูปที่ 3.15



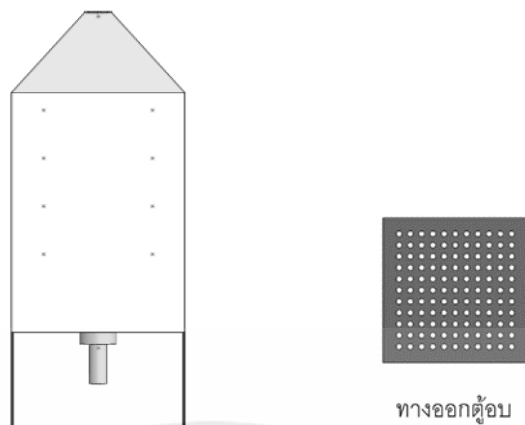
รูปที่ 3.20 เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบ

3.11 กรณีการศึกษา

ภายหลังจากการนำผลการทดลองจริงมาทำการปรับความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออกทั้งหมด 6 กรณีศึกษาโดยแบ่งเป็นศึกษาทางเข้า 3 แบบ และทางออก 3 แบบเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีผลต่ออุณหภูมิและความเร็วภายในตู้อบโดยอ้างอิงการตั้งค่าและการป้อนข้อมูลของกรณีการปรับเทียบผลของแบบจำลองกับผลการทดลองจริงมาเป็นกรณีศึกษา

3.11.1 กรณีการศึกษาที่ 1

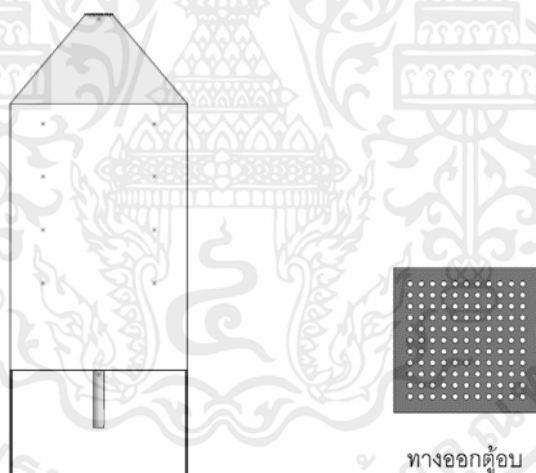
จากรูปที่ 3.16 เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นระแนงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าเป็นท่อตันแบบ



รูปที่ 3.21 ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้ือบเป็นตระแกรง

3.11.2 กรณีการศึกษาที่ 2

จากรูปที่ 3.17 เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้ือบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าตู้ือบเป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร

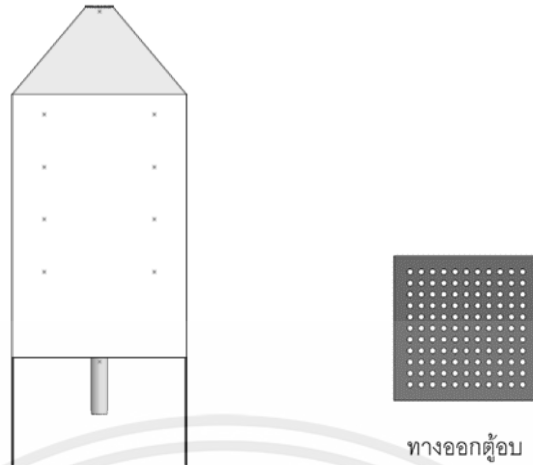


รูปที่ 3.22 ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้ือบเป็นตระแกรงและทางเข้าตู้ือบเป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร

3.11.3 กรณีการศึกษาที่ 3

จากรูปที่ 3.18 เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้ือบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าตู้ือบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร

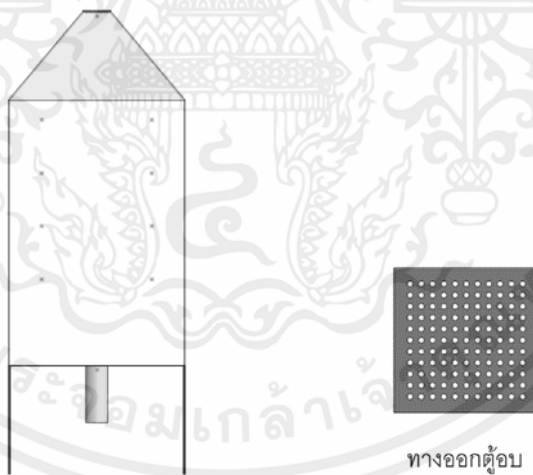
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงและทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร

3.11.4 กรณีการศึกษาที่ 4

จากรูปที่ 3.19 เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร

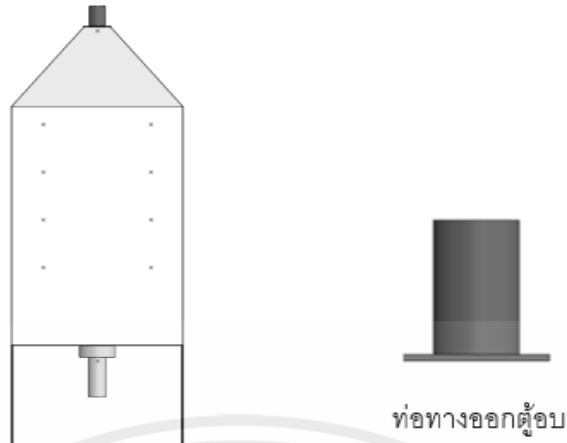


รูปที่ 3.24 ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงและทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร

3.11.5 กรณีการศึกษาที่ 5

จากรูปที่ 3.20 เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และทางเข้าเป็นท่อตันแบบ

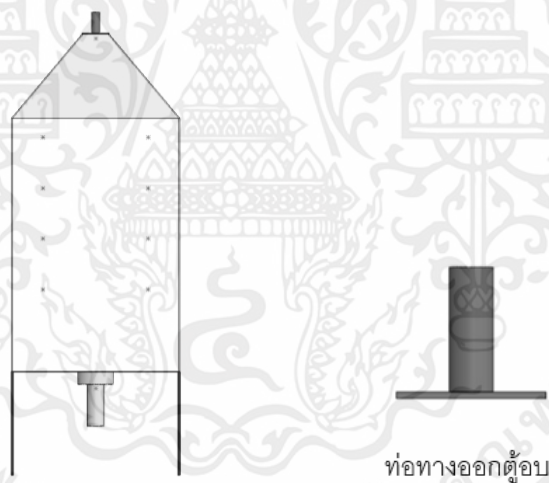
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62

3.11.6 กรณีการศึกษาที่ 6

จากรูปที่ 3.21 เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกเป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และทางเข้าเป็นท่อตันแบบ



รูปที่ 3.26 ลักษณะการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 3.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

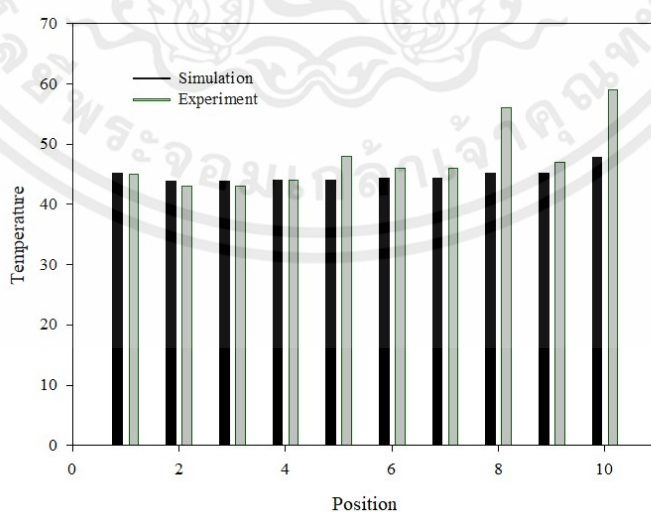
4 ผลการทดลอง

4.1 การดำเนินงานด้านการจำลองโมเดลของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากการใช้กระบวนการออกแบบด้วยซอฟต์แวร์ Solid works ทำให้ได้โมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตัวตู้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 80 x 80 เซนติเมตร และมีความสูงเท่ากับ 120 เซนติเมตร ด้านล่างของตู้อบเป็นท่อทรงกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ด้านบนของตู้อบเป็นปล่องสี่เหลี่ยมมีลักษณะเป็นตัวแอลขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 14 x 14 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร และยาว 52 เซนติเมตร ภายในตู้อบติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งหมด 10 ตัว โดยจะติดตั้งไว้ที่ช่องทางเข้าตู้อบ 1 ตัว ภายในตู้อบติดตั้งไว้ 4 ชั้นโดยติดตั้งชั้นละ 2 ตัว และที่ปล่องทางออกตู้อบ 1 ตัว วัสดุที่ใช้ทำผนังตู้อบและปล่องทางออก คือ แผ่นโพลีคาร์บอเนตที่เป็นสีใส ส่วนแผ่นใต้ตู้อบเป็นเหล็กแผ่น และช่องทางเข้าตู้อบเป็นท่อสแตนเลส

4.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิการจำลองกับการทดลองจริง

ผลการจำลองอุณหภูมิภายในตู้อบช่วงเวลา 14.30 น. เมื่อนำผลการจำลองแบบกับผลการทดลองจริงมาทำการเปรียบเทียบ อุณหภูมิทั้งสอง พบว่าผลการจำลองแบบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 44.32 องศาเซลเซียสและผลการทดลองจริงมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 47.7 องศาเซลเซียส ผลต่างของอุณหภูมิ 3.38 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิระหว่างผลการทดลองและ การจำลองแบบพบว่าค่าอุณหภูมิของการทดลองมีค่าที่สูงกว่าการจำลองเนื่องจากการทดลองจริงสภาพอากาศในแต่ละช่วงเวลามีผลต่ออุณหภูมิภายในตู้ที่แบบจำลองไม่สามารถทำได้ จึงทำให้อุณหภูมิต่างกันแต่แนวโน้มของอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 4.1



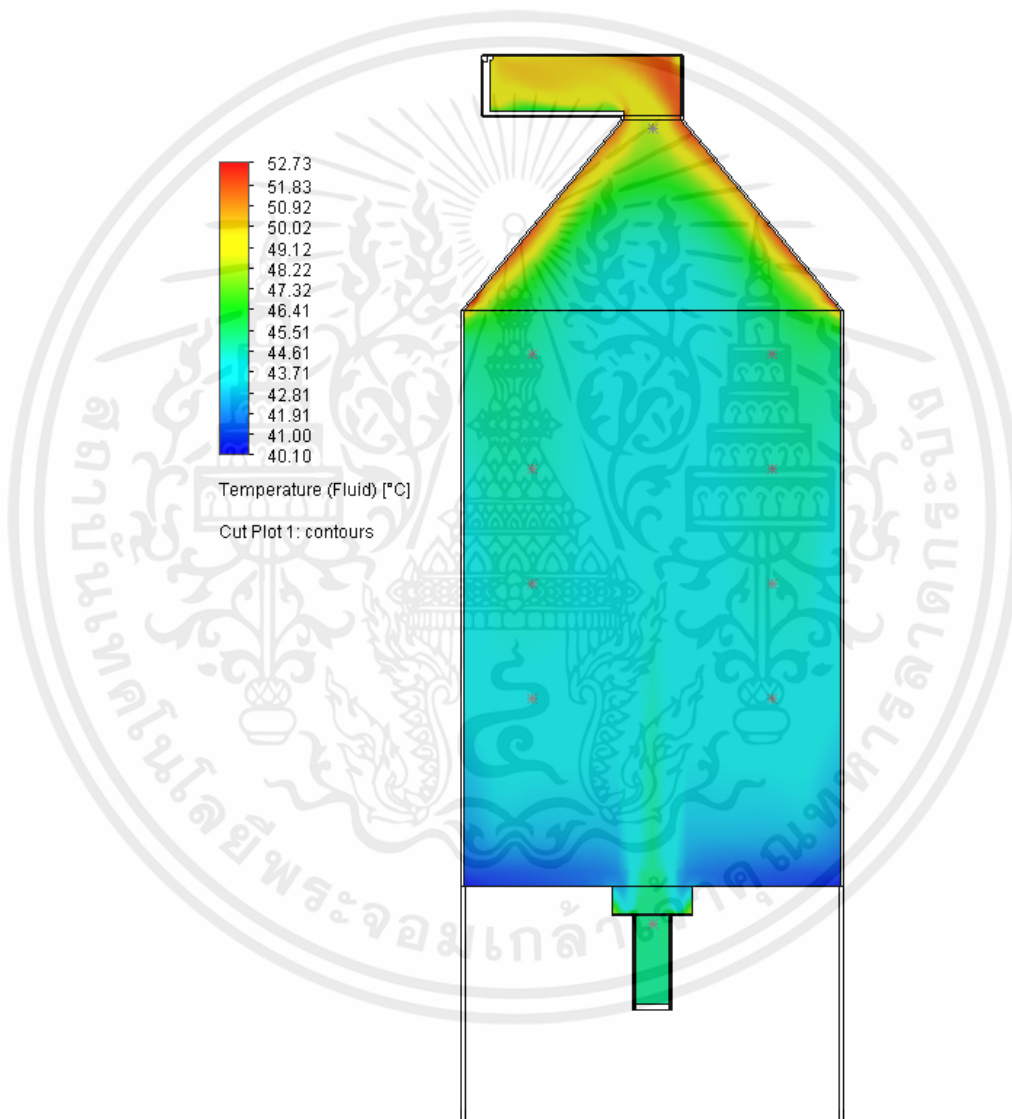
รูปที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิการจำลองกับการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการทดลองของตู้อบตามแบบการทดลอง

4.3.1 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในตู้อบ

พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้อบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดเป็นแถบสีแดงบริเวณหลังคาตู้อบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิ และอุณหภูมิต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างตู้อบเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบน และพื้นที่ภายในตู้อบมีความกว้างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศมีความใกล้เคียงกัน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบมีค่าเท่ากับ 44.32 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.2

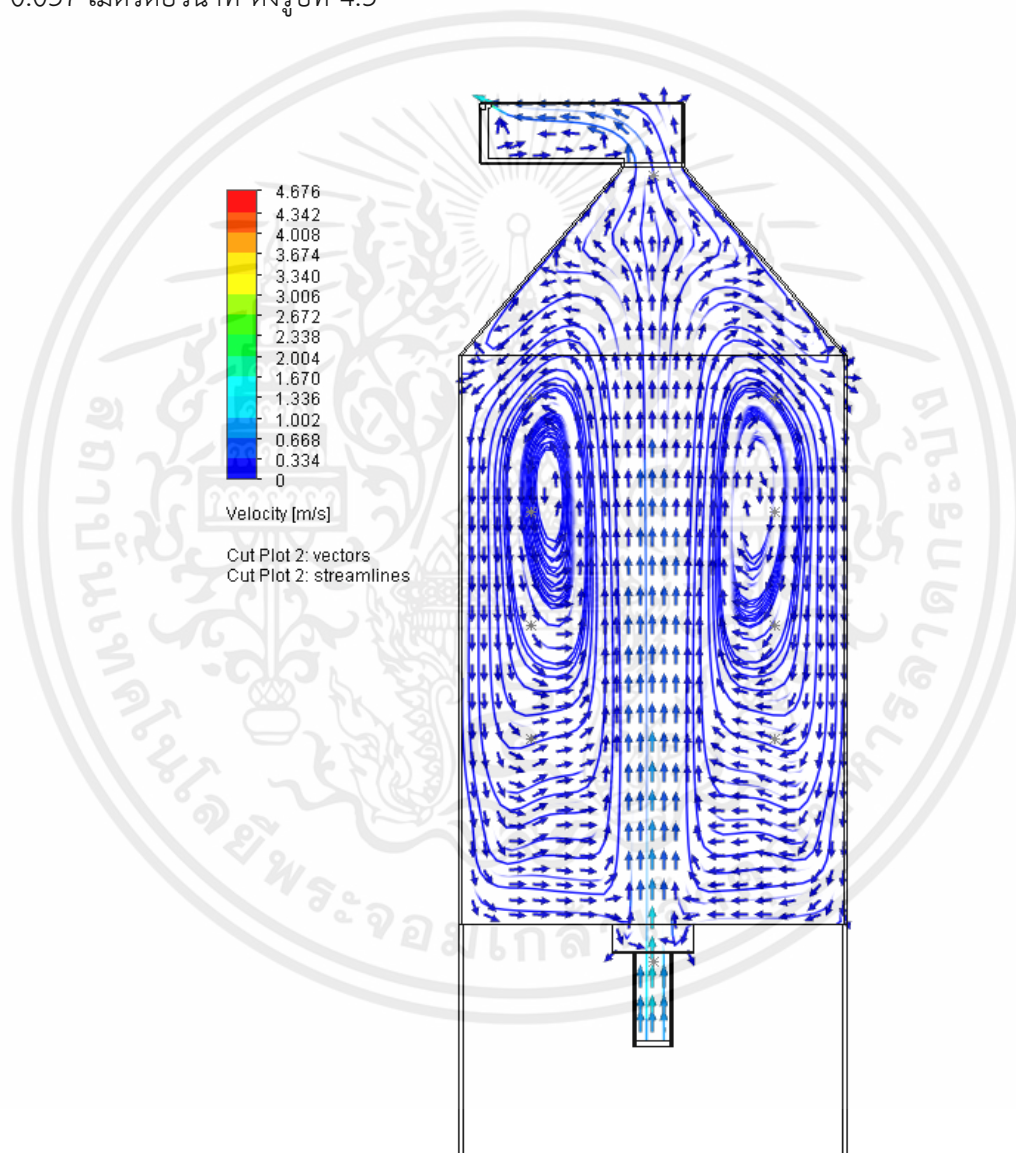


รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 เป็นเวกเตอร์ของความเร็วนในตู้อบ

จากรูปที่ 4.3 เวกเตอร์ของความเร็วนในตู้อบแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ระบายทางเข้าตู้ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วนมีทิศทางขึ้นจากบริเวณทางเข้าตู้ และลดลงบริเวณภายในตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลง และความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นบริเวณทางออกตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศสูงที่สุด เนื่องจากบริเวณทางออกตู้มีการเปิดระบายอากาศเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดการไหลวนของอากาศภายในตู้บริเวณรอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงของชั้นที่ 3-4 ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศมีความใกล้เคียงกัน และความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางของความเร็วนที่พุ่งขึ้นด้านล่างตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.037 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เวกเตอร์ของความเร็วนในตู้อบ

4.4 การศึกษาอิทธิพลของทางเข้าและทางออกที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิกับความเร็วของอากาศภายในตู้อบ

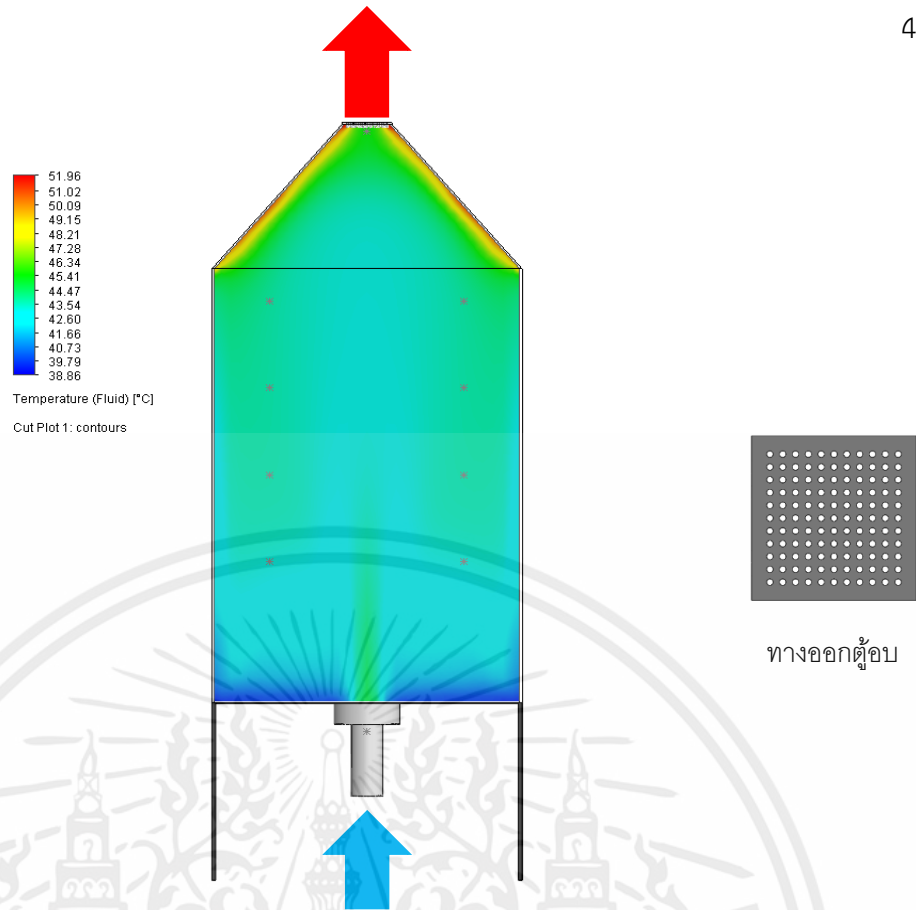
ภายหลังจากการนำผลการทดลองจริงมาทำการปรับความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออกทั้งหมด 6 กรณีศึกษาโดยแบ่งเป็นศึกษาทางเข้า 3 แบบ และทางออก 3 แบบเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีผลต่ออุณหภูมิและความเร็วภายในตู้อบโดยอ้างอิงการตั้งค่าและการป้อนข้อมูลของกรณีการปรับเทียบผลของแบบจำลองกับผลการทดลองจริงมาเป็นกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.1 การปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออก

กรณีการศึกษา	การปรับเปลี่ยนรูปแบบทางเข้าและทางออก
กรณีที่ 1	ทางออกแบบที่ 1 เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าเป็นท่อตันแบบ
กรณีที่ 2	ทางออกแบบที่ 2 เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าแบบที่ 4 เป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร
กรณีที่ 3	ทางออกแบบที่ 3 เป็นตะแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร
กรณีที่ 4	ทางออกแบบที่ 4 เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร
กรณีที่ 5	ทางออกแบบที่ 5 เป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และทางเข้าเป็นท่อตันแบบ
กรณีที่ 6	ทางออกแบบที่ 6 เป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และทางเข้าเป็นท่อตันแบบ

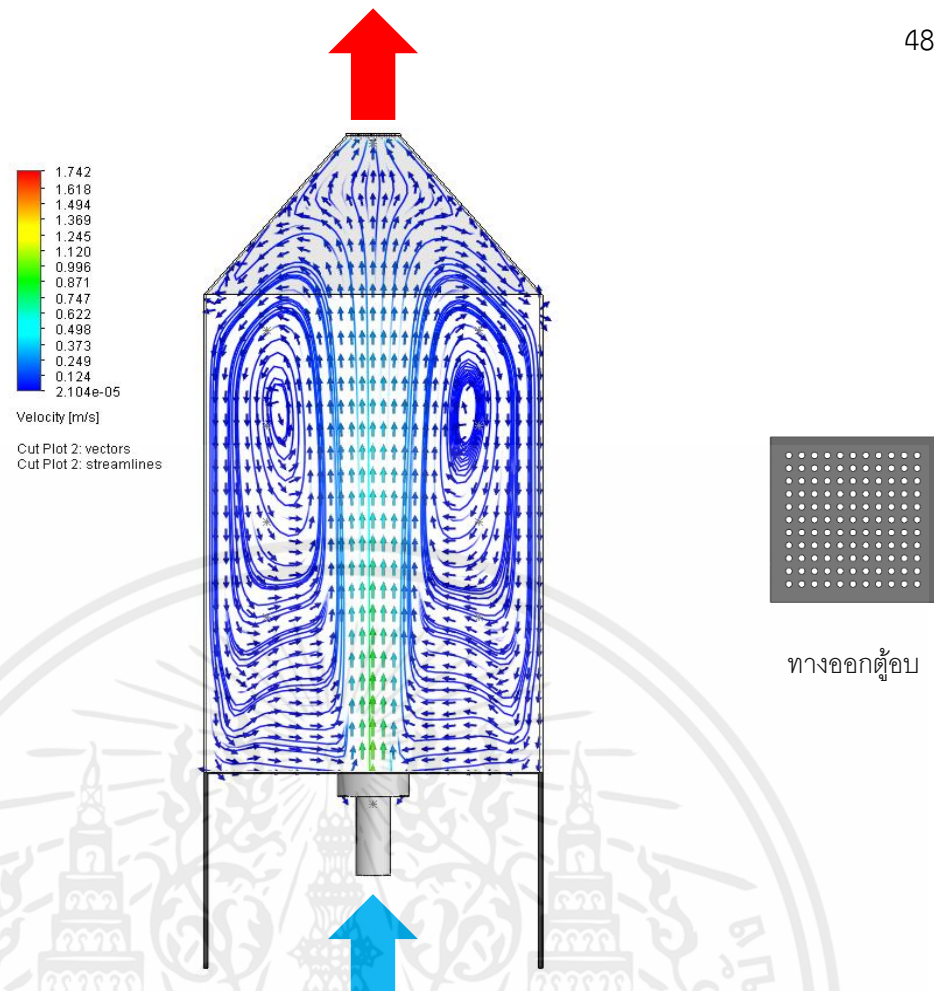
4.4.1 กรณีที่ 1

เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู จากรูปที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้อบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดเป็นแถบสีแดงบริเวณหลังคาตู้อบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิ และอุณหภูมิต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างตู้อบเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบนจนถึงชั้นที่ 1 เนื่องจากพื้นที่ภายในตู้อบมีความกว้างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบๆทิศทางที่มีการพุ่งขึ้นของอากาศมีความใกล้เคียงกันในช่วงของชั้นที่ 2-4 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.38 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 1

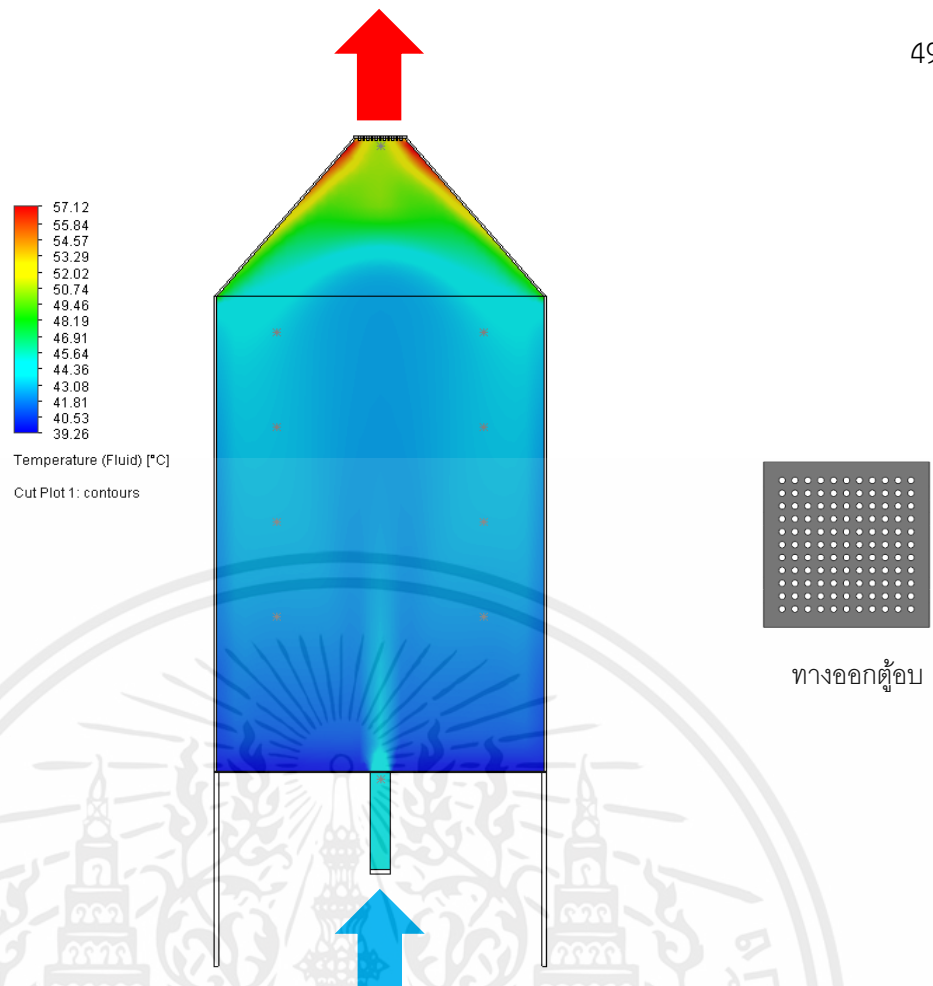
จากรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงเวกเตอร์ของความเร็วแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ระบายทางเข้าตู้ ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วมีทิศทางชี้ขึ้นจากบริเวณทางเข้าตู้ และลดลงบริเวณภายในตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลง และความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นบริเวณทางออกตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศสูงที่สุด เนื่องจากบริเวณทางออกตู้เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู ทำให้เกิดการไหลวนของอากาศภายในตู้บริเวณรอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงของชั้นที่ 1-4 ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศมีความใกล้เคียงกัน และความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางของความเร็วที่พุ่งขึ้นด้านล่างตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.038 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.5 การแสดงเวกเตอร์ของความเร็วในตู้ือบในกรณีที่ 1

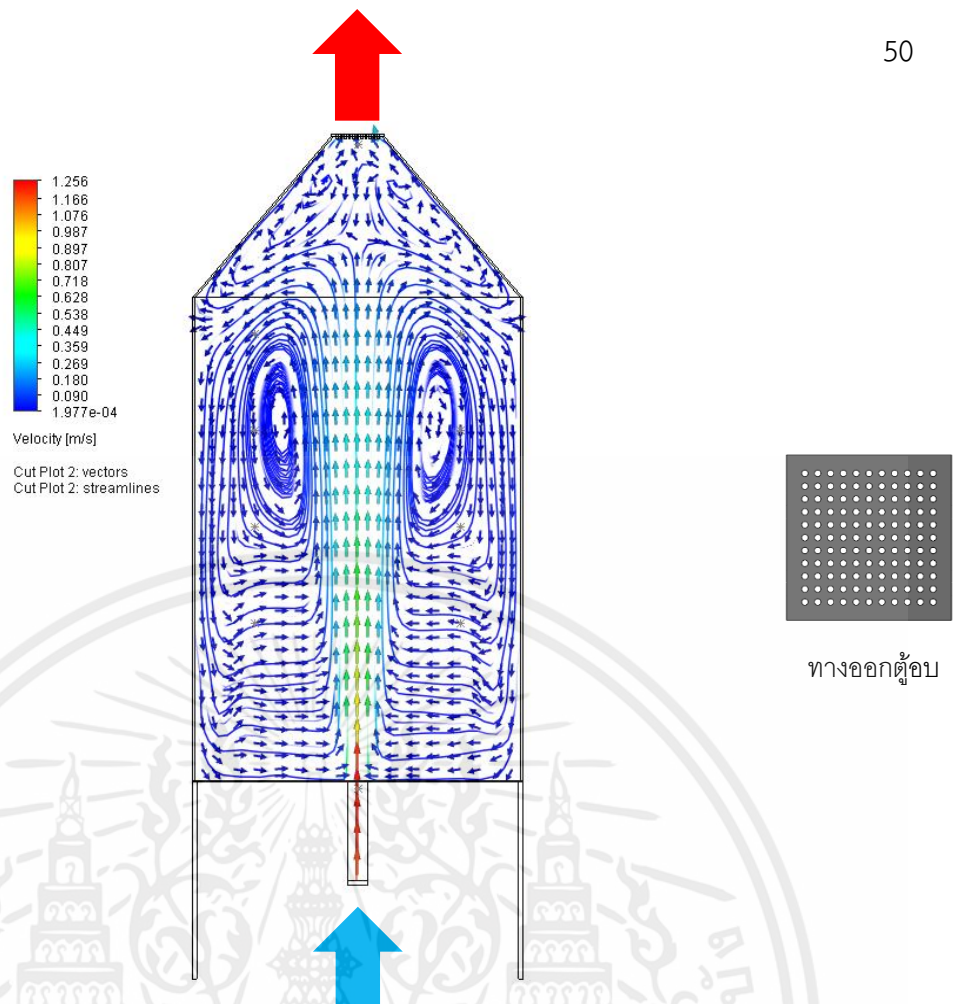
4.4.2 กรณีที่ 2

เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้ือบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าตู้ือบเป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร จากรูปที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้ือบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดเป็นแถบสีแดงบริเวณตระแกรงทางออกตู้ือบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิ และอุณหภูมิต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างตู้ือบและบริเวณที่มีทิศทางการพุ่งขึ้นของอากาศเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบนจนถึงในช่วงของชั้นที่ 1 และอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นในช่วงของชั้นที่ 2-4 เนื่องจากพื้นที่ภายในตู้ือบมีความกว้างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศยริเวณรอบๆทิศทางที่พุ่งขึ้นของอากาศมีความใกล้เคียงกันในช่วงของชั้นที่ 2-4 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 42.93 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 2

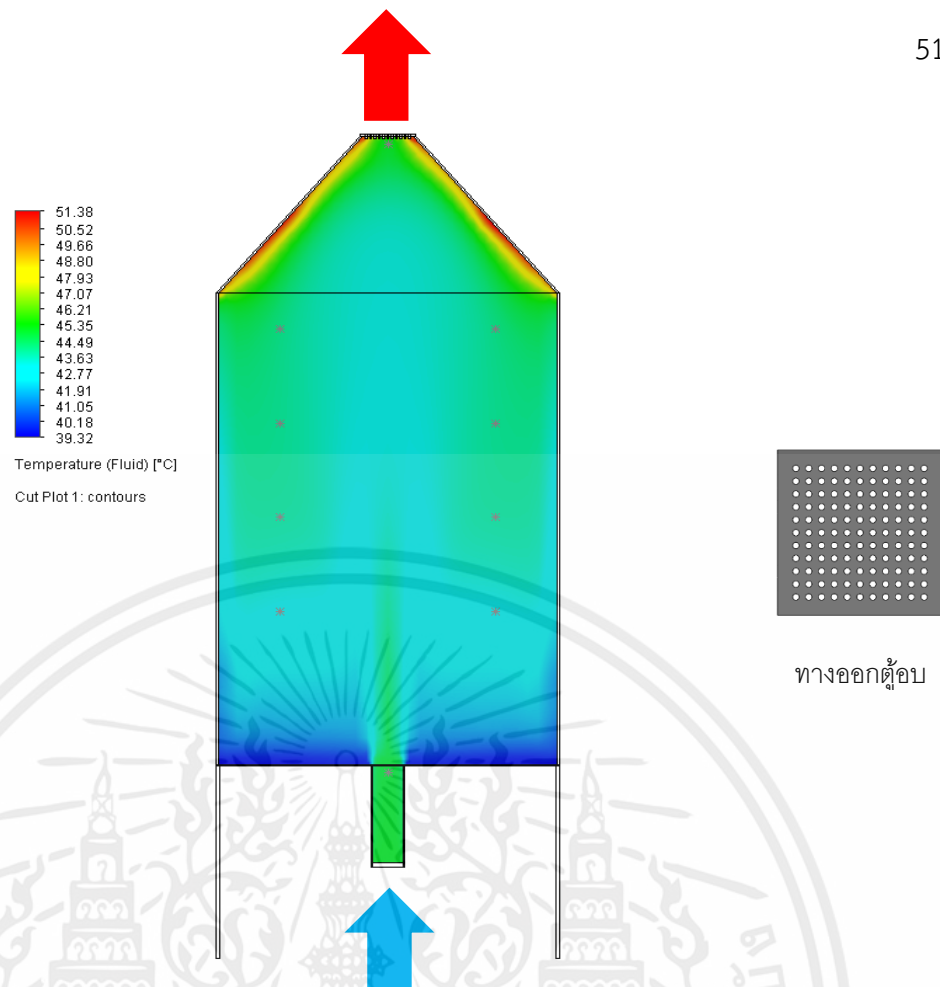
จากรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงเวกเตอร์ของความเร็วแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ระบายทางเข้าตู้ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วมีทิศทางพุ่งขึ้นและกระจายออกด้านข้างจากบริเวณทางเข้าตู้ และลดลงบริเวณภายในตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลง และความเร็วของอากาศจะต่ำที่สุดบริเวณทางออกตู้และบริเวณรอบๆทิศทางที่มีการพุ่งขึ้นของอากาศส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศสูงที่สุดบริเวณทางออกของตู้อบเพราะมีความร้อนสะสม และอากาศบริเวณรอบๆทิศทางที่มีการพุ่งขึ้นของอากาศเกิดการไหลวนทำในช่วงของชั้นที่ 4 ทำให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน และความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางของความเร็วที่พุ่งขึ้นด้านล่างตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด เนื่องจากบริเวณทางออกตู้เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.025 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.7 เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 2

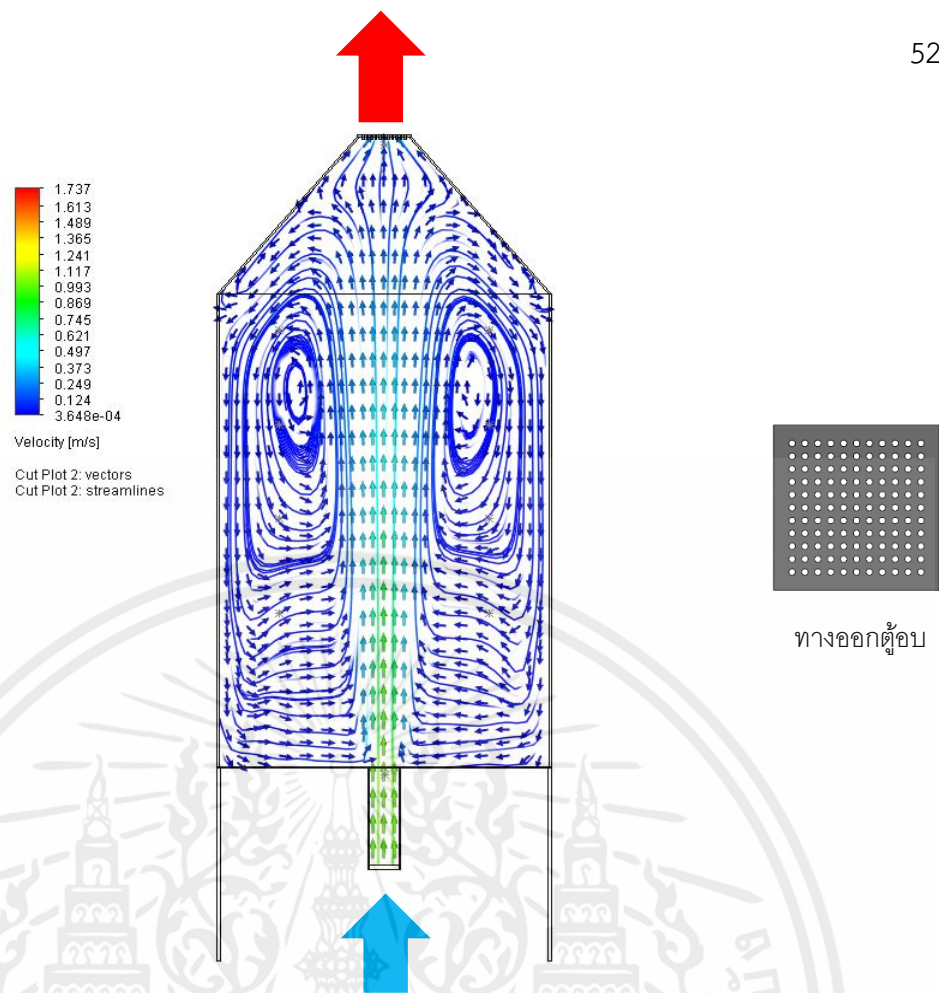
4.4.3 กรณีที่ 3

เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร จากรูปที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้อบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดเป็นแถบสีแดงบริเวณหลังคาตู้อบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิ และอุณหภูมิต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างตู้อบ และมีค่าใกล้เคียงกันจนเกือบถึงชั้นที่ 1 เนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบน และพื้นที่ภายในตู้อบมีความกว้างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบๆทิศทางที่มีการพุ่งขึ้นของอากาศมีความใกล้เคียงกันในช่วงของชั้นที่ 2-4 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.44 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 3

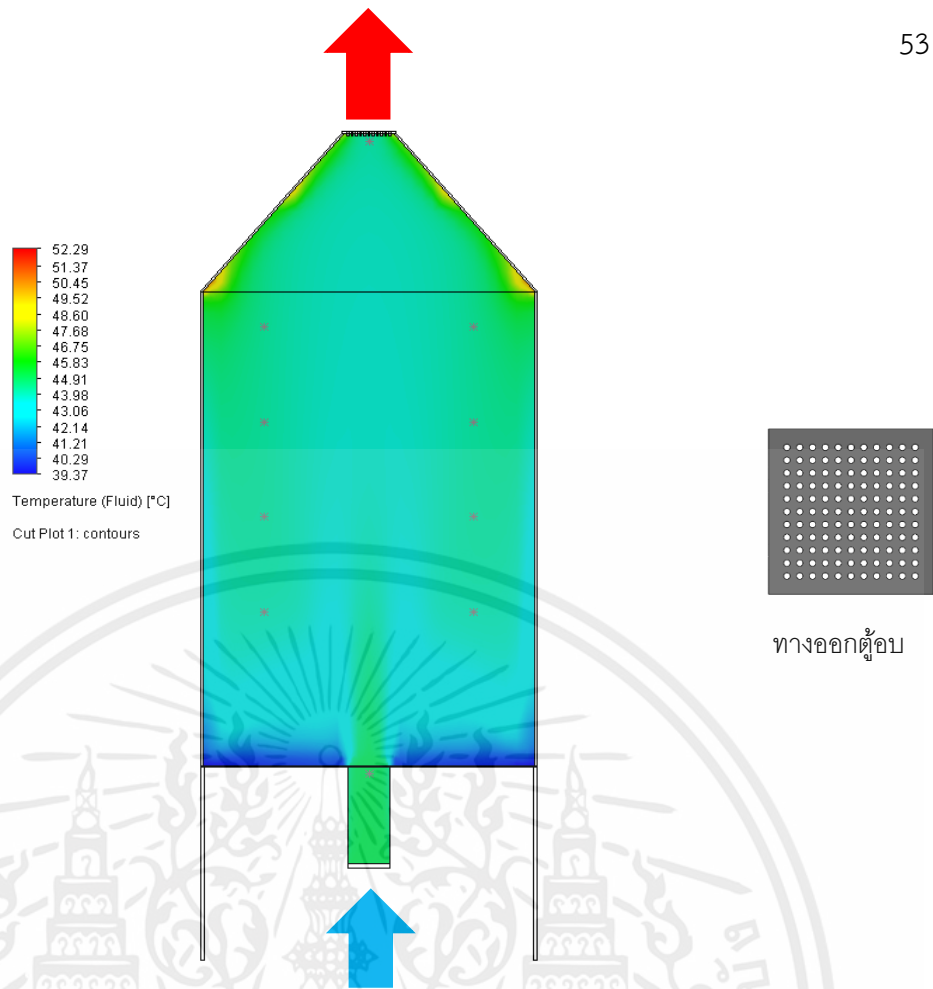
จากรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงเวกเตอร์ของความเร็วแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ระบายทางเข้าตู้ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วมีทิศทางขึ้น และกระจายออกด้านข้างส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลง และความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นบริเวณทางออกตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากบริเวณทางออกตู้เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทำให้เกิดการไหลวนของอากาศมีความใกล้เคียงกันภายในตู้รอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้น โดยความเร็วอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงบริเวณชั้นที่ 2-4 ส่งผลให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน โดยความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆ ทิศทางของความเร็วที่พุ่งขึ้นมาจากด้านล่างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด เนื่องจากทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.034 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.9 เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 3

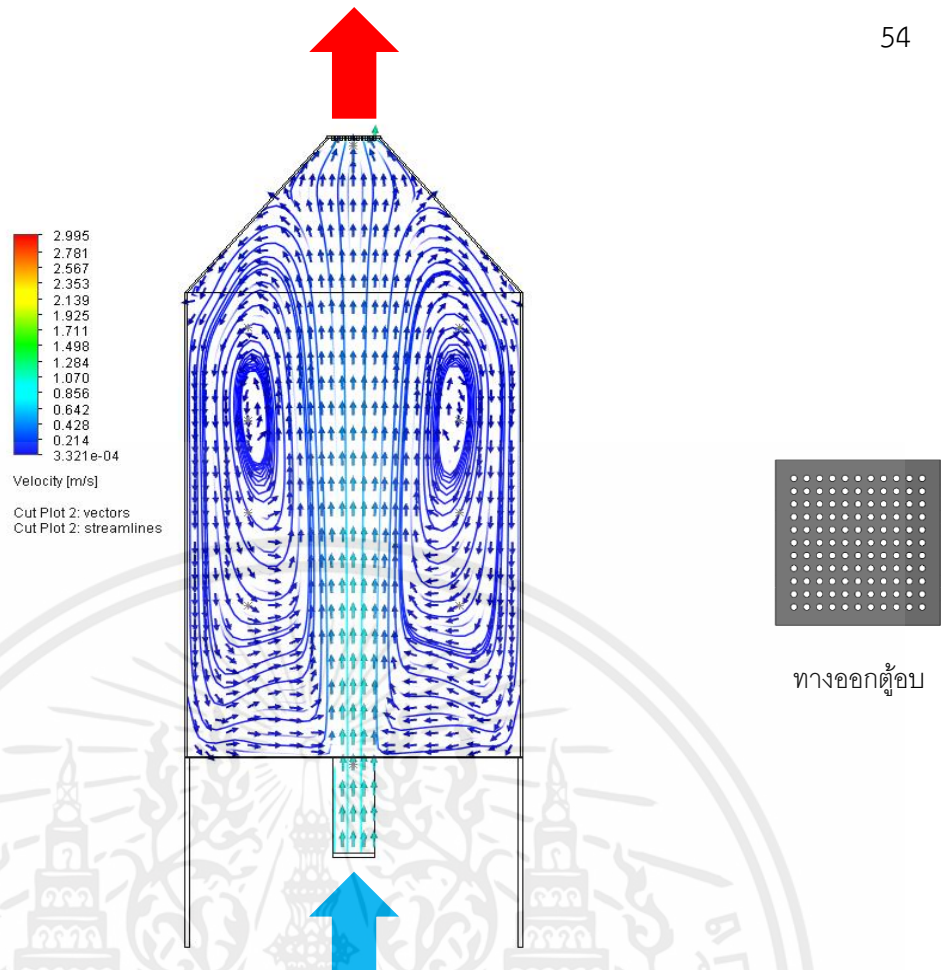
4.4.4 กรณีที่ 4

เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร จากรูปที่ 4.10 พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้อบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงที่สุดจะเป็นสีเหลืองบริเวณช่วงหลังคาตู้อบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิแต่มีส่วนน้อย และอุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าใกล้เคียงกัน และอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างของตู้อบเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบนหลังคาทำให้ด้านล่างของตู้มีอุณหภูมिन้อย และอุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าใกล้เคียงกัน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.92 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 4

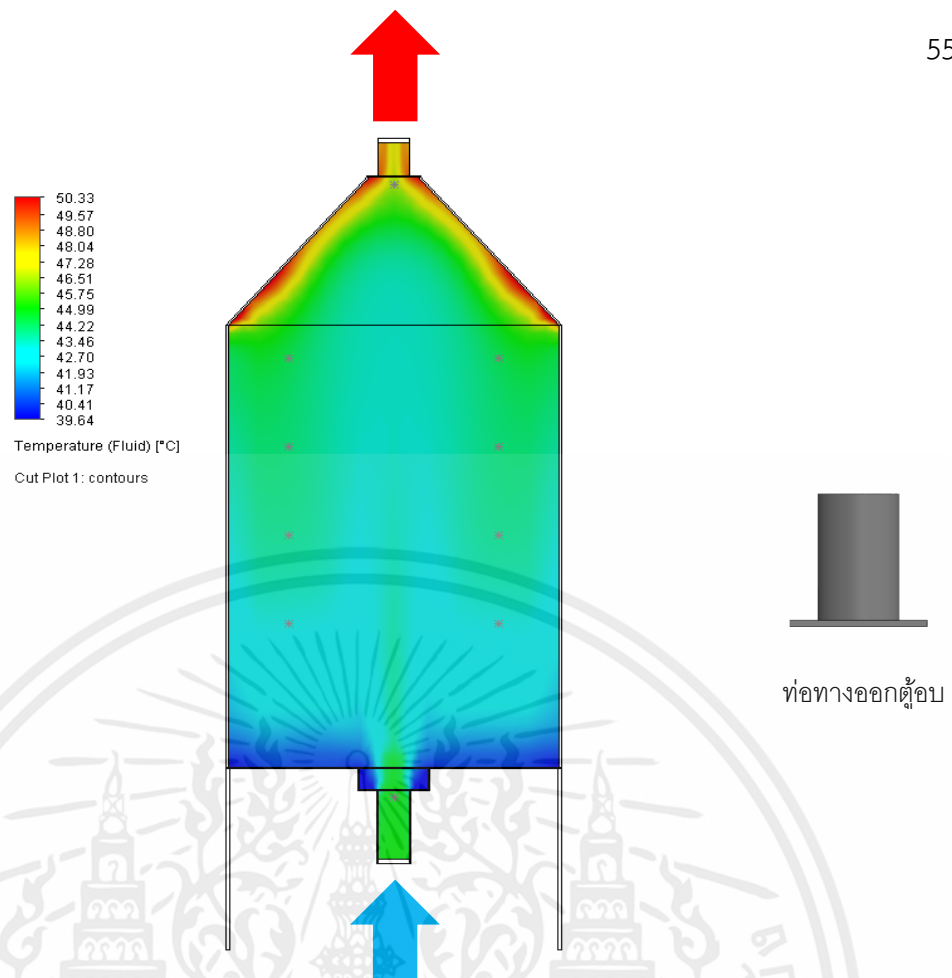
จากรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงเวกเตอร์ของความเร็วแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ระบายทางเข้าตู้ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วมีทิศทางขึ้น และกระจายออกทางด้านข้างส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลงทางออกตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศใกล้เคียงกันกับในตู้อบ เนื่องจากบริเวณทางออกตู้เป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู และทำให้เกิดการไหลวนของอากาศมีความใกล้เคียงกันภายในตู้รอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้น โดยความเร็วอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงบริเวณชั้นที่ 1-4 ส่งผลให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน โดยความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆ ทิศทางของความเร็วที่พุ่งขึ้นมาทางด้านล่างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด เนื่องจากทางเข้าตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.052 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.11 เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 4

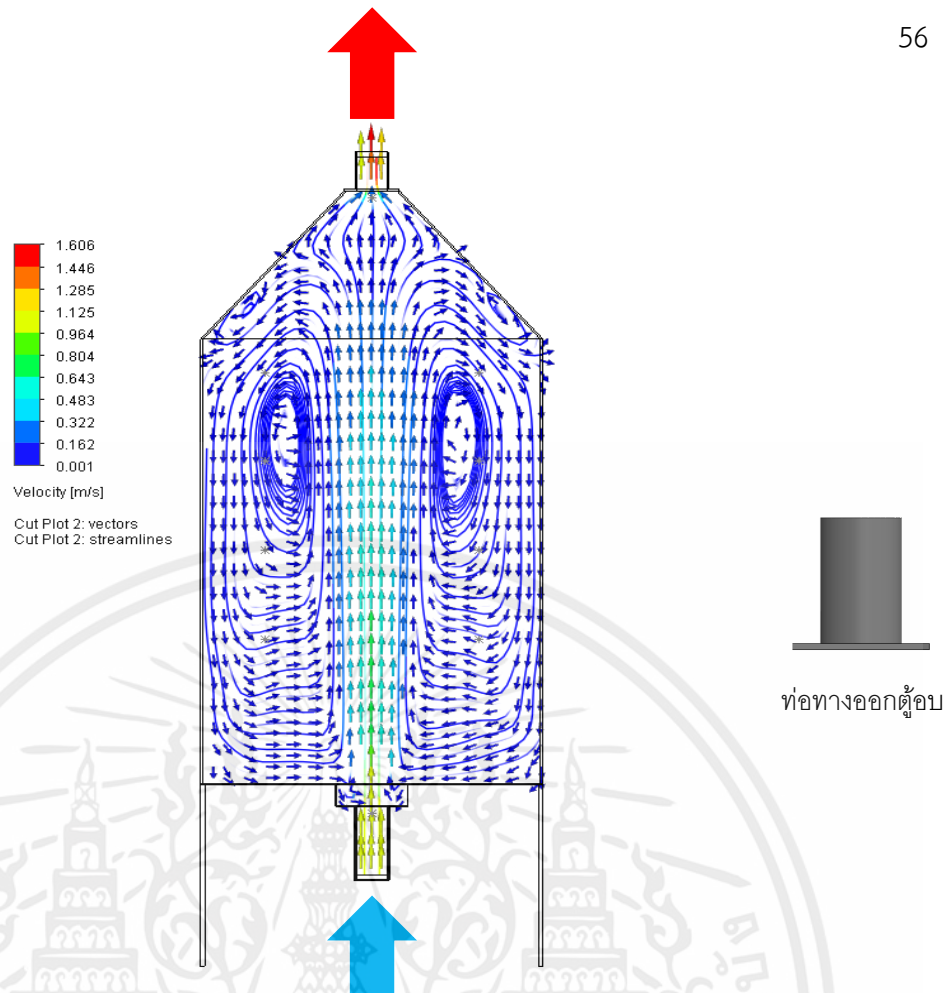
4.4.5 กรณีที่ 5

เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร จากรูปที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้อบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงที่สุดจะเป็นสีแดงบริเวณช่วงหลังคาและท่อทางออกของตู้อบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิ และอุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของชั้นที่ 1-2 และเริ่มสูงขึ้นในช่วงของชั้นที่ 3-4 และอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างของตู้อบ เนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบนหลังคาทำให้ด้านล่างของตู้มีอุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าใกล้เคียงกัน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.59 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 5

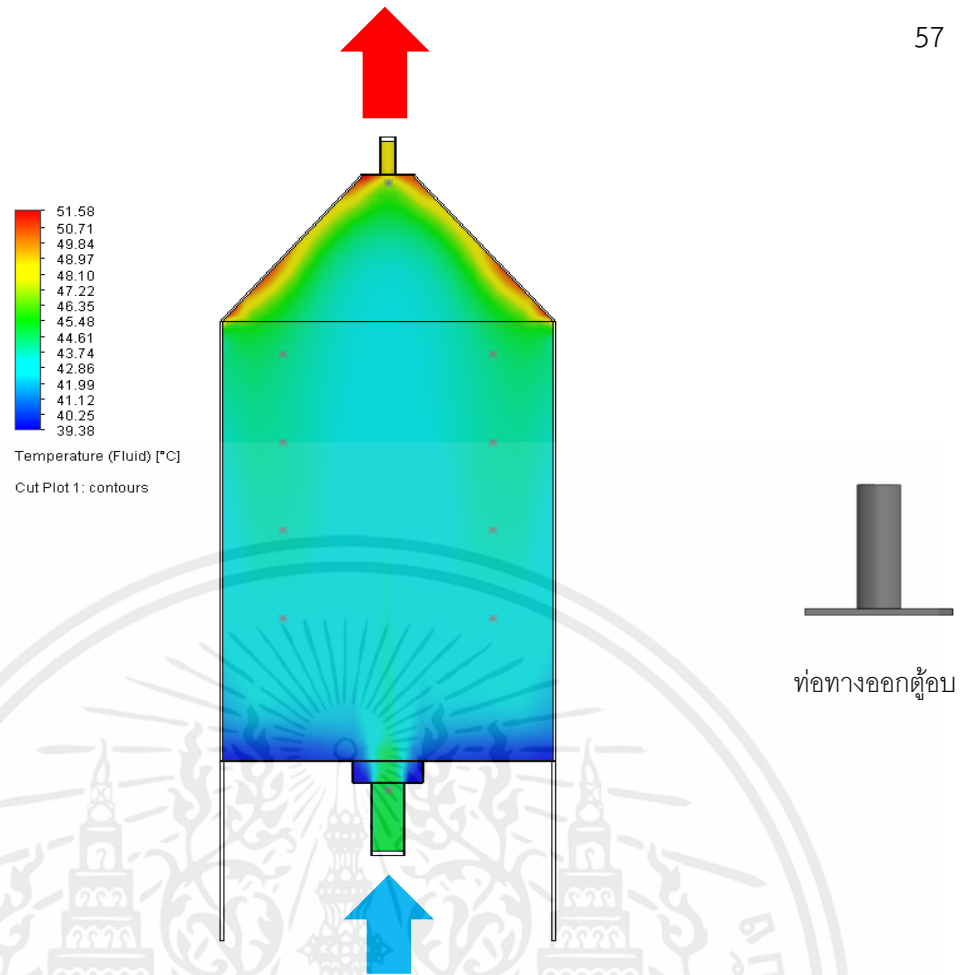
จากรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงเวกเตอร์ของความเร็วแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ีอระนาบทางเข้าตู้ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วมีทิศทางขึ้น และกระจายออกทางด้านข้างส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลง และความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นบริเวณทางออกตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากบริเวณทางออกตู้เป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และทำให้เกิดการไหลวนของอากาศมีความใกล้เคียงกันภายในตู้รอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงของชั้นที่ 4 โดยความเร็วอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงบริเวณชั้นที่ 1-3 ส่งผลให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน โดยความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆ ทิศทางของความเร็วที่พุ่งขึ้นมาจากด้านล่างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด เนื่องจากบริเวณทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.033 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.13 เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 5

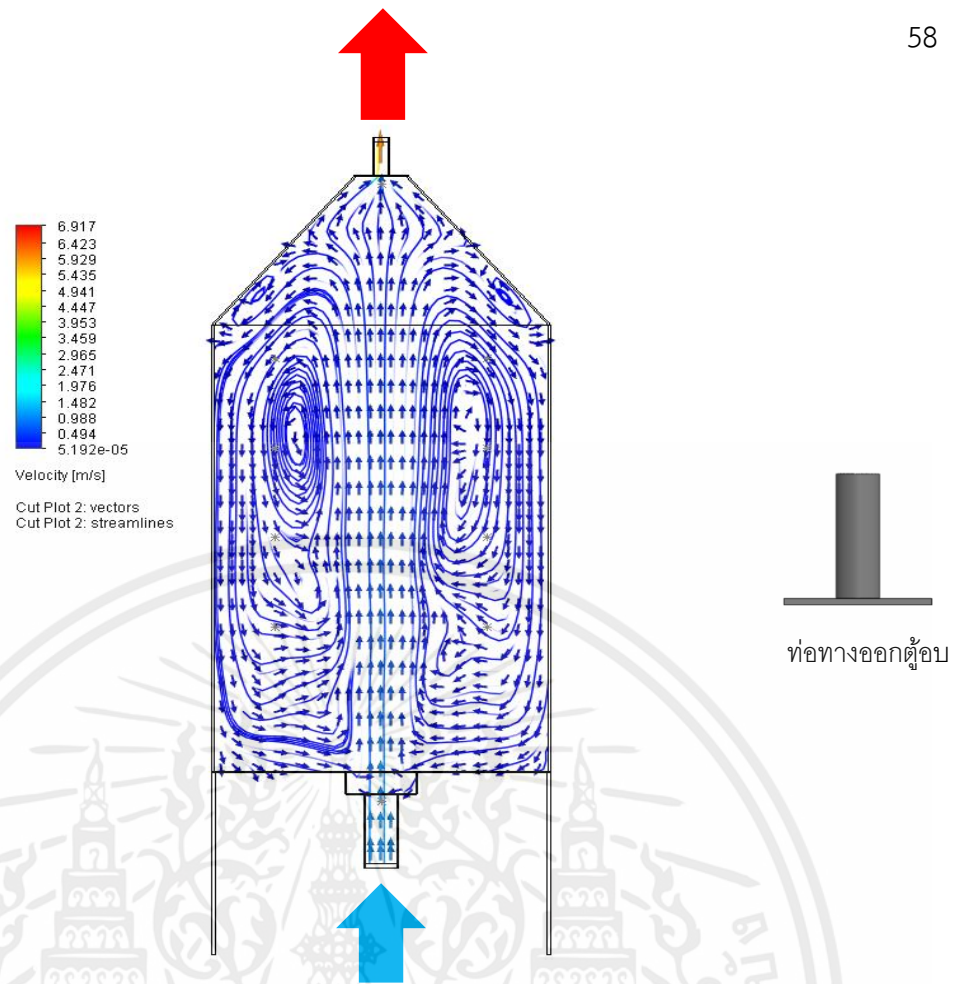
4.4.6 กรณีที่ 6

เป็นการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร จากรูปที่ 4.14 พบว่าอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นโดยลักษณะการกระจายตัวจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของตู้อบสังเกตจากแถบสีที่ปรากฏหน่วยของอุณหภูมิแสดงเป็นองศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงที่สุดจะเป็นสีแดงบริเวณช่วงหลังคาของตู้อบเนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิเพราะท่อทางออกของตู้อบเป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเป็นแถบสีน้ำเงินบริเวณด้านล่างของตู้อบจนถึงชั้นที่ 1 เนื่องจากการพาความร้อนขึ้นสู่ด้านบนหลังคาทำให้ด้านล่างของตู้มีอุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิภายในตู้อบเริ่มเพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของชั้นที่ 2-4 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.14 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบในกรณีที่ 6

จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงเวกเตอร์ของความเร็วแสดงเป็นเมตรต่อวินาที คือ ระบายทางเข้าตู้ภายในตู้ และทางออกตู้เวกเตอร์ของความเร็วมีทิศทางขึ้น และกระจายออกทางด้านข้าง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลง และความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นบริเวณทางออกตู้ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากบริเวณทางออกตู้เป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และทำให้เกิดการไหลวนของอากาศมีความใกล้เคียงกันภายในตู้รอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงของชั้นที่ 3-4 โดยความเร็วอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆทิศทางการไหลที่พุ่งขึ้นในช่วงบริเวณชั้นที่ 1-2 ส่งผลให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน โดยความเร็วของอากาศที่ต่ำบริเวณรอบๆ ทิศทางของความเร็วที่พุ่งขึ้นมาจากด้านล่างส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศต่ำที่สุด เนื่องจากบริเวณทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.034 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.15 เวกเตอร์ของความเร็วในตู้อบในกรณีที่ 6

4.5 ภาพรวมการเปรียบเทียบของแต่ละกรณี

4.5.1 กรณีที่ 1

การการปรับเปลี่ยนทางออกแบบที่ 1 ทางเข้าเป็นท่อตันแบบ มีความเร็วของอากาศที่ 0.9 m/s ที่ทางเข้าตู้บริเวณด้านล่างตู้บลดลงเหลือ 0.014 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณด้านล่างตู้บต่ำสุดที่ 38.86 °C และความเร็วสูงสุด 1.742 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 51.96 °C จากการสะสมของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศบริเวณทางออกตู้เนื่องจากทางออกเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู

4.5.2 กรณีที่ 2

การการปรับเปลี่ยนทางออกแบบที่ 2 ทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 5.08 เซนติเมตร มีความเร็วของอากาศที่ 0.9 m/s ที่ทางเข้าตู้บริเวณด้านล่างตู้บลดลงเหลือ 0.036 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณด้านล่างตู้บต่ำสุดที่ 39.26 °C และความเร็วสูงสุด 1.256 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 57.12 °C จากการสะสมของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศบริเวณทางออกตู้เนื่องจากทางออกเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู

4.5.3 กรณีที่ 3

การการปรับเปลี่ยนทางออกแบบที่ 3 ทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร มีความเร็วของอากาศที่ 0.9 m/s ที่ทางเข้าตู้บริเวณด้านล่างตู้บลดลงเหลือ 0.066 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณด้านล่างตู้บต่ำสุดที่ 39.32 °C และความเร็วสูงสุด 1.737 m/s ส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 51.38 °C จากการสะสมของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศบริเวณทางออก เนื่องจากทางออกเป็นตระแกรงหนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 121 รู

4.5.4 กรณีที่ 4

การการปรับเปลี่ยนทางออกแบบที่ 4 ทางเข้าเป็นท่อกลมขนาด 10.16 เซนติเมตร มีความเร็วของอากาศที่ 0.9 m/s ที่ทางเข้าตัวบริเวณด้านล่างตู้อบลดลงเหลือ 0.061 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณด้านล่างตู้อบต่ำสุดที่ 39.37 °C และความเร็วสูงสุด 2.995 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 52.29 °C จากการสะสมของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศบริเวณทางออก เนื่องจากทางออกเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

4.5.4 กรณีที่ 5

การการปรับเปลี่ยนทางออกแบบที่ 5 ทางเข้าเป็นท่อตันแบบ มีความเร็วของอากาศที่ 0.9 m/s ที่ทางเข้าตัวบริเวณด้านล่างตู้อบลดลงเหลือ 0.001 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณด้านล่างตู้อบต่ำสุดที่ 39.64 °C และความเร็วสูงสุด 1.606 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 50.33 °C จากการสะสมของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศบริเวณทางออกเนื่องจากทางออกเป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

4.5.4 กรณีที่ 6

การการปรับเปลี่ยนทางออกแบบที่ 6 ทางเข้าเป็นท่อตันแบบ มีความเร็วของอากาศที่ 0.9 m/s ที่ทางเข้าตัวบริเวณด้านล่างตู้อบลดลงเหลือ 0.034 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณด้านล่างตู้อบต่ำสุดที่ 39.38 °C และความเร็วสูงสุด 6.917 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 51.58 °C จากการสะสมของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศบริเวณทางออกเนื่องจากทางออกเป็นท่อกลมขนาด 3.81 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิและความเร็วของอากาศในตู้อบของกรณีการศึกษา

กรณีการศึกษา	อุณหภูมิและความเร็วของอากาศในตู้อบ			
	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	V _{max} (m/s)	V _{min} (m/s)
กรณีที่ 1	51.96	38.86	1.742	0.014
กรณีที่ 2	57.12	39.26	1.256	0.036
กรณีที่ 3	51.38	39.32	1.737	0.066
กรณีที่ 4	52.29	39.37	2.995	0.061
กรณีที่ 5	50.33	39.64	1.606	0.001
กรณีที่ 6	51.58	39.38	6.917	0.034

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการจำลอง

1. ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม Solid Works พบว่าผลการจำลองมีค่าอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.32 องศาเซลเซียส และผลการทดลองจริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.7 องศาเซลเซียส โดยมีความต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 3.38 องศาเซลเซียส

2. จากการปรับเปลี่ยนรูปแบบโมเดลที่ทางเข้า และทางออกพบว่าขนาดของท่อทางเข้าและขนาดของท่อทางออกที่มีขนาดต่างกัน และรูปแบบต่างกันมีผลทำให้มีการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้ และความเร็วของอากาศภายในตู้ต่างกัน คือ โดยทางออกเป็นตระแกรงเมื่อทางเข้าเป็นท่อตันแบบ ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่วงชั้นที่ 1-4 และในช่วงพื้นที่ตู้จะมีความเร็วต่ำทำให้อุณหภูมิต่ำ และสูงขึ้นในช่วงชั้นที่ 1-4 และสูงที่สุดบริเวณหลังคาตู้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.38 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.038 เมตรต่อวินาที เมื่อท่อทางเข้าเป็นท่อขนาด 5.08 เซนติเมตร ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่วงชั้นที่ 3-4 และในช่วงพื้นที่ตู้จนถึงชั้นที่ 1 จะมีความเร็วต่ำทำให้อุณหภูมิต่ำ และสูงขึ้นในช่วงชั้นที่ 3-4 และสูงที่สุดบริเวณทางออกมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 42.93 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.025 เมตรต่อวินาที เมื่อท่อทางเข้าเป็นท่อขนาด 7.62 เซนติเมตร ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่วงชั้นที่ 1-4 และในช่วงพื้นที่ตู้จะมีความเร็วต่ำทำให้อุณหภูมิต่ำ และสูงขึ้นในช่วงชั้นที่ 1-2 และเพิ่มขึ้นในช่วงชั้นที่ 3-4 และสูงที่สุดบริเวณหลังคาตู้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 43.44 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.034 เมตรต่อวินาที เมื่อท่อทางเข้าเป็นท่อขนาด 10.16 เซนติเมตร ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่วงชั้นที่ 1-4 และในช่วงพื้นที่ตู้จะมีความเร็วต่ำทำให้อุณหภูมิต่ำ และสูงขึ้นในช่วงชั้นที่ 1-4 และสูงที่สุดเป็นบางจุดบริเวณหลังคาตู้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.92 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.052 เมตรต่อวินาที เมื่อทางเข้าเป็นท่อตันแบบและทางออกเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่วงชั้นที่ 4 และในช่วงพื้นที่ตู้จะมีความเร็วต่ำทำให้อุณหภูมิต่ำและสูงขึ้นในช่วงชั้นที่ 1 และเพิ่มขึ้นในช่วงชั้นที่ 2-4 สูงที่สุดบริเวณหลังคาตู้จนถึงทางออกมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.59 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.033 เมตรต่อวินาที และทางออกเป็นท่อกลมขนาด 7.62 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่วงชั้นที่ 3-4 และในช่วงพื้นที่ตู้จะมีความเร็วต่ำทำให้อุณหภูมิต่ำและสูงขึ้นในช่วงชั้นที่ 1 และเพิ่มขึ้นในช่วงชั้นที่ 2-4 และสูงที่สุดบริเวณหลังคาตู้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.50 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.034 เมตรต่อวินาที

3. จากการศึกษาทั้งหมด 6 กรณีการศึกษาพบว่า การปรับเปลี่ยนรูปแบบโมเดลตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในกรณีการศึกษาที่ 4 มีการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบในแต่ละชั้นที่ใกล้เคียงกันที่สุด และอุณหภูมิต่ำกับความเร็วเฉลี่ยสูงที่สุดโดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในมีค่าเท่ากับ 43.92 องศาเซลเซียส และความเร็วเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 0.052 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากปัญหา Covid-19 ทำให้มีผลต่อการดำเนินงานล่าช้าและยังไม่ตรงตามวัตถุประสงค์แรก
2. ควรทำการจำลองรูปแบบโมเดลด้วยโปรแกรม Ansys Workbench เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำกว่าเนื่องจากโปรแกรม Solid Works จะสามารถดูได้แต่แนวโน้มของอุณหภูมิ
3. จากการจำลองจะไม่สนใจอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในแผงรับแสงอาทิตย์ เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าอุณหภูมิและความเร็วของอากาศ ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อิศเรศ วรรณทร. (2554). “การศึกษาการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพูนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล.” ปรินญาณพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [2] วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. (2562). “แบบจำลองความปั่นป่วน K-epsilon ($k - \epsilon$) และ K-omega ($k - \omega$) สำหรับการวิเคราะห์รอบการหมุนของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนสำหรับชุมชน.” วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ฉบับที่ 1, หน้า 97. ที่พิมพ์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดพิษณุโลก.
- [3] AppliCAD. (2559). **วิเคราะห์ความร้อนกับ Solid Works** เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2564. เข้าถึงได้จาก <http://applicadthai.com/articles/วิเคราะห์ความร้อนกับ-solidworks>.
- [4] Yunus a. cengel, Robert h. turner. (2005). Fundamentals thermal-fluid sciences. Bangkok: McGraw-Hill.
- [5] สำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา. **พลศาสตร์ของของไหล**. เข้าถึงเมื่อ 26 มกราคม 2564. เข้าถึงจาก http://www.pattayatech.ac.th/files/150511088485246_15110614142222.pdf.
- [6] มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **กลศาสตร์ของไหล**. เข้าถึงเมื่อ 2 มกราคม 2564. เข้าถึงได้จาก <http://me.neu-engineering.com/Fluid/f-6.html>.
- [7] ปัญจพร ศรีชนาพันธ์, วิษณุ ช่างเนียม. (2557). “การแปรรูปสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์” โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [8] ภัทรฤทัย คำแสง, ขนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร, จาตุพงศ์ วาฤทธิ และสมเกียรติ จตุรงค์ลำเลิศ. (2556). **การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล**. สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [9] ธันยบุรณ์ ฉาววรรณ, เชาวฤทธิ์ วันเสาร์. (2559) “การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันในอุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ” ว.มทรส. ฉบับที่ 1, หน้า 32-45. ที่พิมพ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์.
- [10] ดรลพร ประดั่งทะสา, เนวลิ เวียงนิล, สุธรรม ขาวจิว และรัฐพร ไชยญาติ. (2561) “การวิเคราะห์ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ” **สู่วิจัยรับใช้สังคมด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์**. หน้า 1335. สถานที่จัดงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก, วันที่ 6-8 ธันวาคม 2561.
- [11] ประเมษฐ์ มาลีหวล และอดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์. (2554) “การจำลองการไหลของอากาศในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดย CFD”. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** ปีที่ 13 หน้า: 67-74.
- [12] นิปุ่น วิวัฒน์ธนสา, กิตติชัย บุตารา, เจษฎา กิจศรีนภดล และมงคล เทียนวิบูลย์. (2556) “การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแคบหมู”. ใน **การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม**. สถานที่จัดงาน พัทยา, วันที่ 16-18 ตุลาคม 556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตำแหน่ง

ตาราง ก.1 เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่ง

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	45
2	43
3	43
4	44
5	48
6	46
7	46
8	56
9	47
10	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณอัตราการไหลในท่อทางเข้าที่ความเร็ว 0.9 m/s

1. ท่อทางเข้าขนาด 7.62 Ccm

$$\varnothing = \frac{7.62}{100}$$

$$\varnothing = 0.0762 \text{ m}$$

$$r = \frac{0.0762}{2}$$

$$= 0.0381 \text{ m}$$

หาพื้นที่หน้าตัดท่อขนาด 7.62 cm.

$$\begin{aligned} \pi (r)^2 &= \pi (0.0381)^2 \\ &= 0.0045 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

หาอัตราการไหลท่อขนาด 7.62 cm

$$\begin{aligned} Q &= AV \\ &= (0.0045 \text{ m}^2) (0.9 \text{ m/s}) \\ &= 0.004 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. ท่อทางเข้าขนาด 5.08 cm.

$$\varnothing = \frac{5.08}{100}$$

$$\varnothing = 0.05 \text{ m}$$

$$r = \frac{0.05}{2}$$

$$= 0.025 \text{ m.}$$

หาพื้นที่หน้าตัดท่อขนาด 5.08 cm.

$$\begin{aligned} \pi (r)^2 &= \pi (0.025)^2 \\ &= 0.0019 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

หาอัตราการไหลท่อขนาด 5.08 cm.

$$\begin{aligned} Q &= AV \\ &= (0.0019 \text{ m}^2) (0.9 \text{ m/s}) \\ &= 0.001 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

3. ท่อทางเข้าขนาด 10.16 cm.

$$\varnothing = \frac{10.16 \text{ cm}}{100}$$

$$\varnothing = 0.1 \text{ m}$$

$$r = \frac{0.1 \text{ m.}}{2}$$

$$= 0.05 \text{ m.}$$

หาพื้นที่หน้าตัดท่อขนาด 10.16 cm.

$$\begin{aligned}\pi (r)^2 &= \pi (0.05)^2 \\ &= 0.0078 \text{ m}^2\end{aligned}$$

หาอัตราการไหลต่อขนาด 10.16 cm.

$$\begin{aligned}Q &= AV \\ &= (0.0078 \text{ m}^2) (0.9 \text{ m/s}) \\ &= 0.007 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

เมื่อ \varnothing คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

r คือ รัศมี (m)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

V คือ ความเร็ว (m/s)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลและตารางค่าคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 คุณสมบัติของอากาศที่ความดัน 1 atm

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

การหาค่า Pr, V, K จากค่า T

เมื่อ T คือ Temperature ($^\circ\text{C}$)

Pr คือ Prandtl Number

V คือ Kinematic Viscosity (m^2/s)

K คือ Thermal Conductivity ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

ตาราง ข.2 ผนังตู้หาลูกจากอุณหภูมิ 39.87 $^\circ\text{C}$ เทียบ TABLE: A -22

ที่ T ($^\circ\text{C}$)	K ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	V (m^2/s)	Pr
35	0.02625	1.655×10^{-5}	0.7268
40	0.02662	1.702×10^{-5}	0.7255

ตาราง ข.3 ทำการ Interpolation หาค่า Pr, V, K ที่อุณหภูมิ 39.87 $^\circ\text{C}$ ได้ค่าดังนี้

ที่ T ($^\circ\text{C}$)	K ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	V (m^2/s)	Pr
39.87	0.02661	1.700×10^{-5}	0.7255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.4 ผังใต้ตุ้ ทาจากอุณหภูมิ 38.25 °C เทียบ TABLE: A -22

T (°C)	K (W/m/°C)	V (m ² /s)	Pr
35	0.02625	1.655x10 ⁻⁵	0.7268
40	0.02662	1.702x10 ⁻⁵	0.7255

ตาราง ข.5 ทำการ Interporation หาค่า Pr,V,K ที่อุณหภูมิ 38.25 °C ได้ค่าดังนี้

T (°C)	K (W/m/°C)	V (m ² /s)	Pr
38.25	0.02649	1.685x10 ⁻⁵	0.7268

ตาราง ข.6 หลังคาตู้ ทาอุณหภูมิ 37.45 °C เทียบ TABLE: A -22

T (°C)	K (W/m/°C)	V (m ² /s)	Pr
35	0.02625	1.655x10 ⁻⁵	0.7268
40	0.02662	1.702x10 ⁻⁵	0.7255

ตาราง ข.7 ทำการ Interporation หาค่า Pr,V,K ที่อุณหภูมิ 37.45°C ได้ค่าดังนี้

T (°C)	K (W/m/°C)	V (m ² /s)	Pr
37.45	0.02638	0.026x10 ⁻⁵	0.7263



ภาคผนวก ค

ผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 ผลการจำลองกรณีที่ 1

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ตำแหน่ง 1	44.8894
ตำแหน่ง 2	43.1074
ตำแหน่ง 3	43.1067
ตำแหน่ง 4	43.5605
ตำแหน่ง 5	43.5618
ตำแหน่ง 6	43.7051
ตำแหน่ง 7	43.7065
ตำแหน่ง 8	43.9359
ตำแหน่ง 9	43.9377
ตำแหน่ง 10	45.8894
อุณหภูมิเฉลี่ย	43.3822

ตาราง ค.2 ผลการจำลองกรณีที่ 2

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ตำแหน่ง 1	44.7128
ตำแหน่ง 2	42.1920
ตำแหน่ง 3	42.1912
ตำแหน่ง 4	42.8789
ตำแหน่ง 5	42.8793
ตำแหน่ง 6	43.1314
ตำแหน่ง 7	43.1297
ตำแหน่ง 8	43.6859
ตำแหน่ง 9	43.6761
ตำแหน่ง 10	50.6490
อุณหภูมิเฉลี่ย	42.9316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 ผลการจำลองกรณีที่ 3

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ตำแหน่ง 1	44.8412
ตำแหน่ง 2	42.9812
ตำแหน่ง 3	42.9811
ตำแหน่ง 4	43.7277
ตำแหน่ง 5	43.7309
ตำแหน่ง 6	43.9697
ตำแหน่ง 7	43.9705
ตำแหน่ง 8	44.2615
ตำแหน่ง 9	44.2632
ตำแหน่ง 10	45.0288
อุณหภูมิเฉลี่ย	43.4414

ตาราง ค.4 ผลการจำลองกรณีที่ 4

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ตำแหน่ง 1	44.8988
ตำแหน่ง 2	43.8462
ตำแหน่ง 3	43.8573
ตำแหน่ง 4	44.1797
ตำแหน่ง 5	44.1732
ตำแหน่ง 6	44.2767
ตำแหน่ง 7	44.2689
ตำแหน่ง 8	44.4442
ตำแหน่ง 9	44.4453
ตำแหน่ง 10	44.0410
อุณหภูมิเฉลี่ย	43.9288

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 ผลการจำลองกรณีที่ 5

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ตำแหน่ง 1	44.8617
ตำแหน่ง 2	43.0669
ตำแหน่ง 3	43.0679
ตำแหน่ง 4	43.7027
ตำแหน่ง 5	43.7070
ตำแหน่ง 6	44.0091
ตำแหน่ง 7	43.9962
ตำแหน่ง 8	44.5331
ตำแหน่ง 9	44.5111
ตำแหน่ง 10	46.2688
อุณหภูมิเฉลี่ย	43.5919

ตาราง ค.5 ผลการจำลองกรณีที่ 5

ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ตำแหน่ง 1	44.8606
ตำแหน่ง 2	43.0568
ตำแหน่ง 3	43.0588
ตำแหน่ง 4	43.5786
ตำแหน่ง 5	43.5774
ตำแหน่ง 6	43.8776
ตำแหน่ง 7	43.8758
ตำแหน่ง 8	44.4360
ตำแหน่ง 9	44.4302
ตำแหน่ง 10	47.0126
อุณหภูมิเฉลี่ย	43.5032

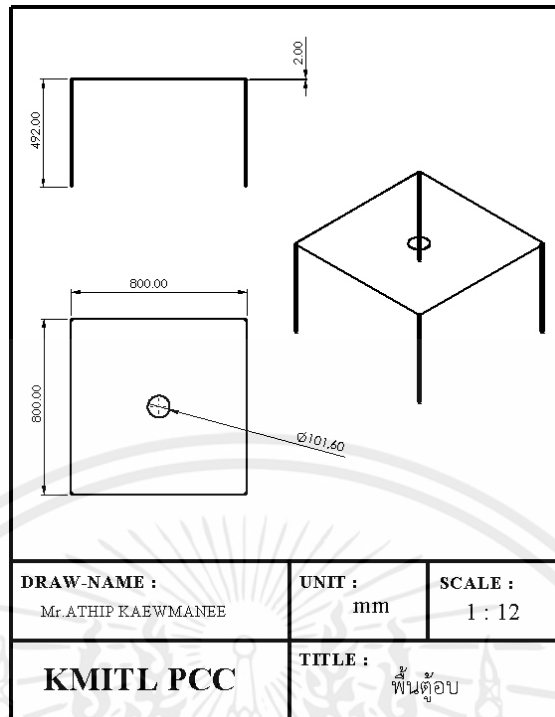
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



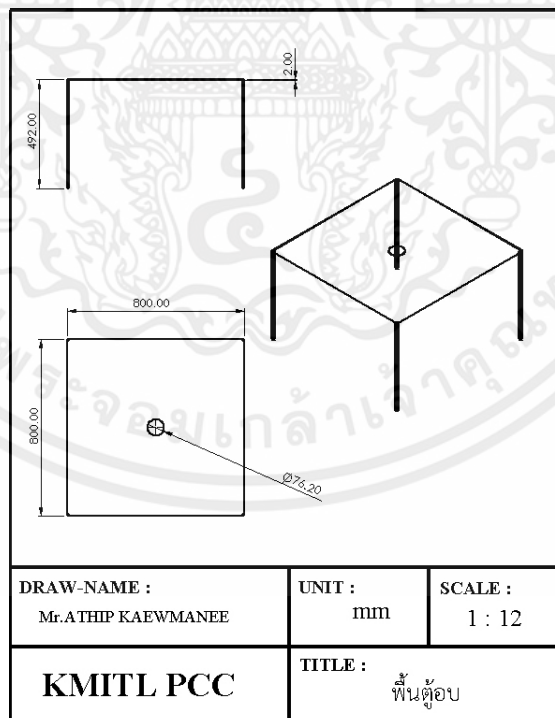
ภาคผนวก ง

ภาพแสดงตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

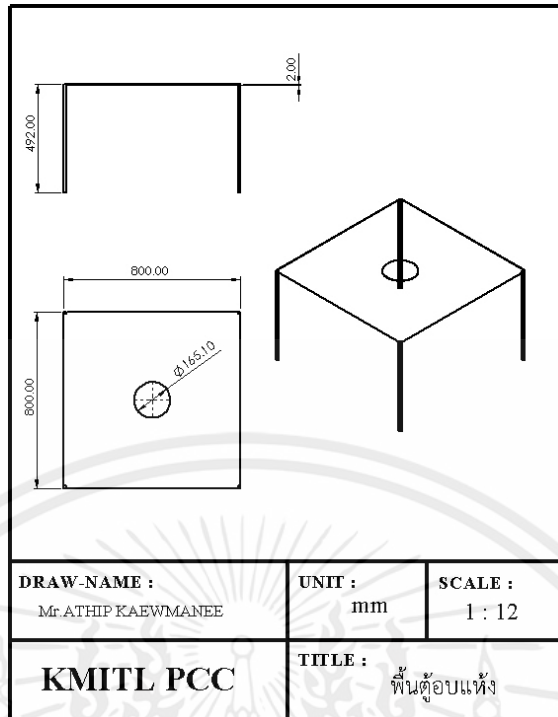


รูปที่ ง.1 พื่นต้อบแบบที่ 1

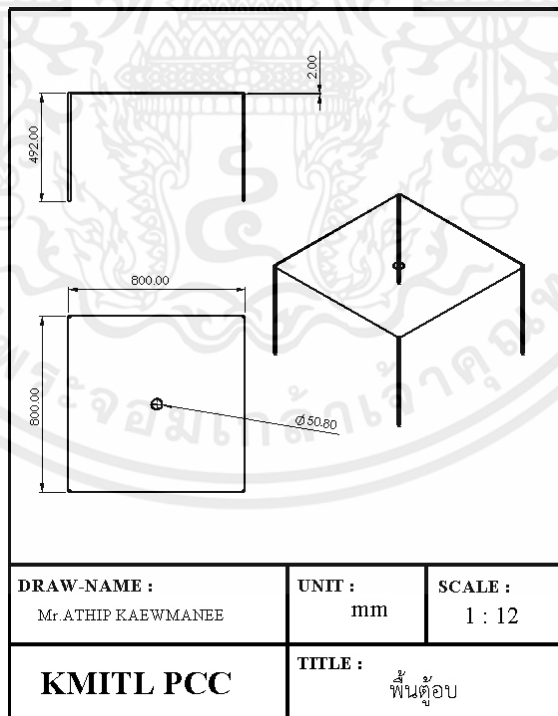


รูปที่ ง.2 พื่นต้อบแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

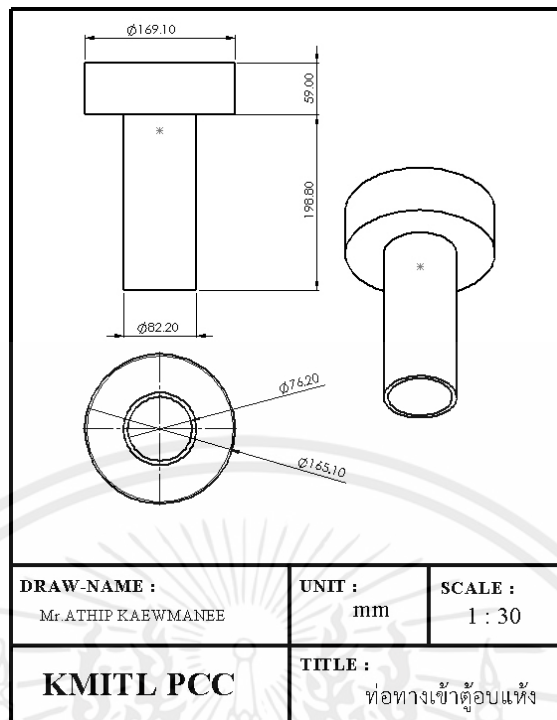


รูปที่ ง.3 พื้้นตู้้อบแ่บบที่ 3

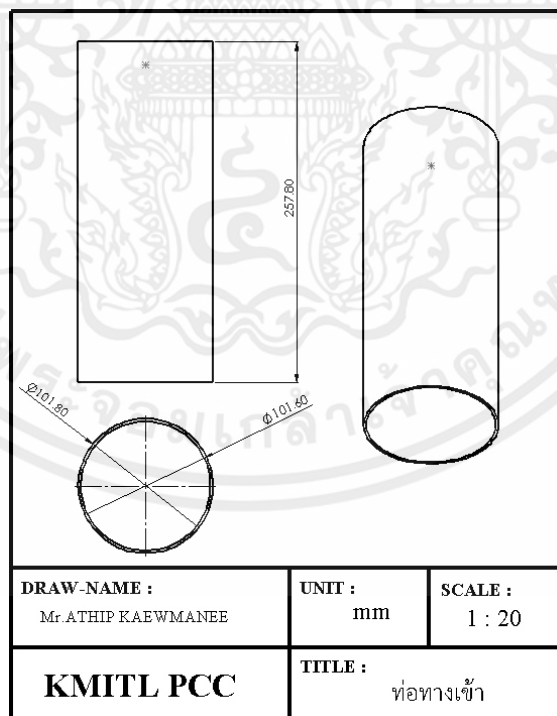


รูปที่ ง.4 พื้้นตู้้อบแ่บบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

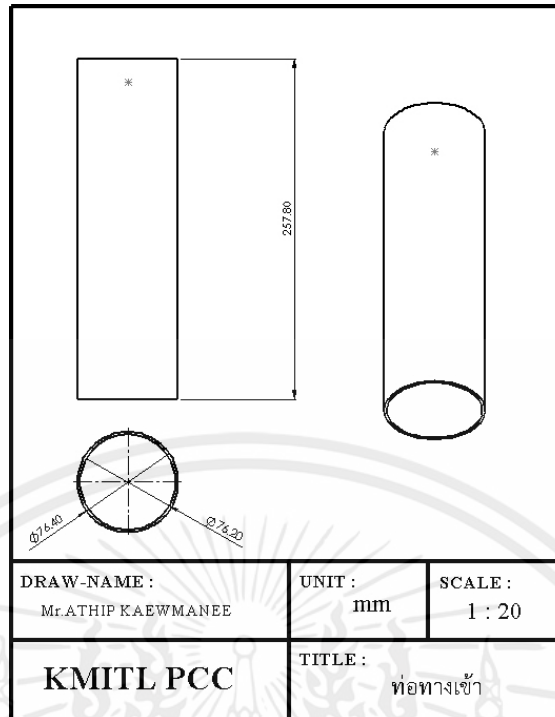


รูปที่ ง.5 ท่อทางออกแบบที่ 1

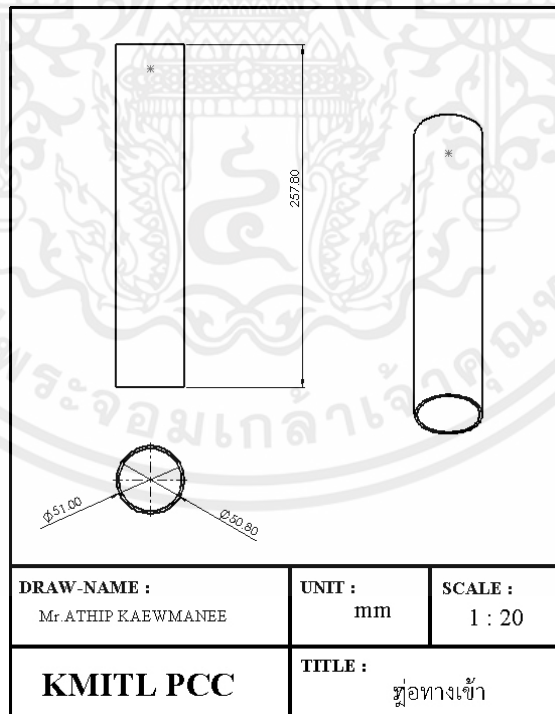


รูปที่ ง.6 ท่อทางเข้าแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

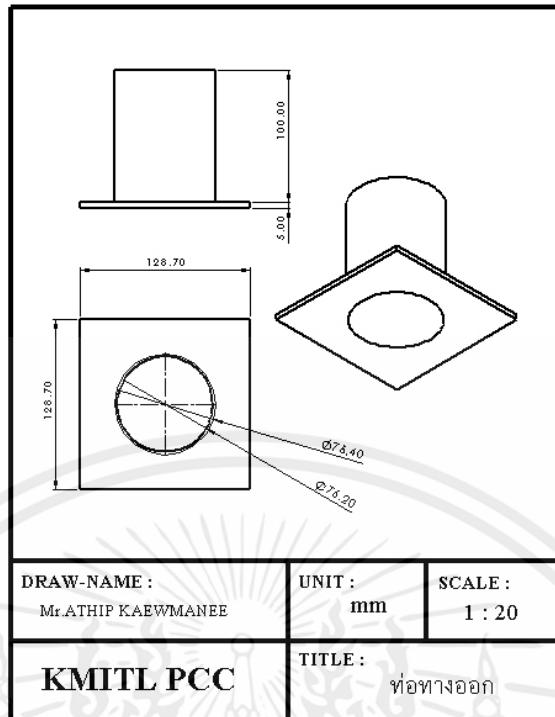


รูปที่ ง.7 ท่อทางเข้าแบบที่ 3

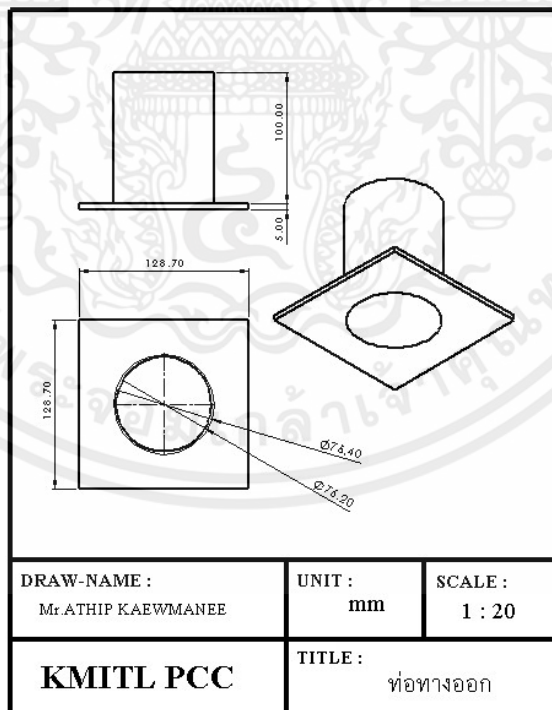


รูปที่ ง.8 ท่อทางเข้าแบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

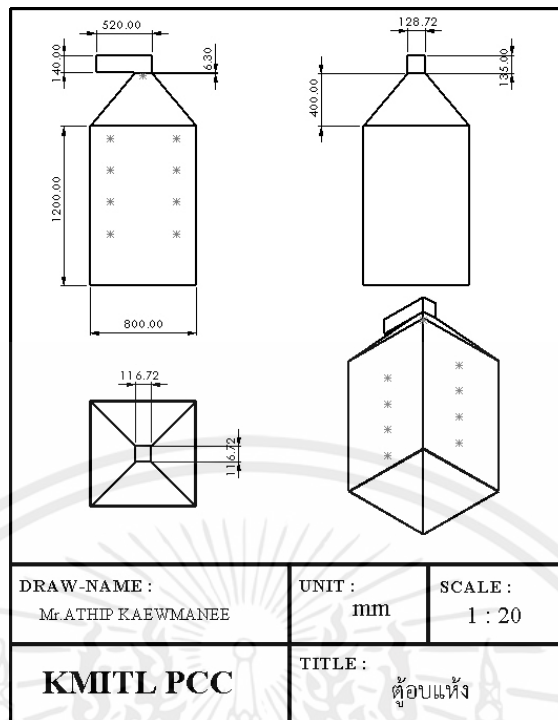


รูปที่ ง.9 ท่อทางออกแบบที่ 1

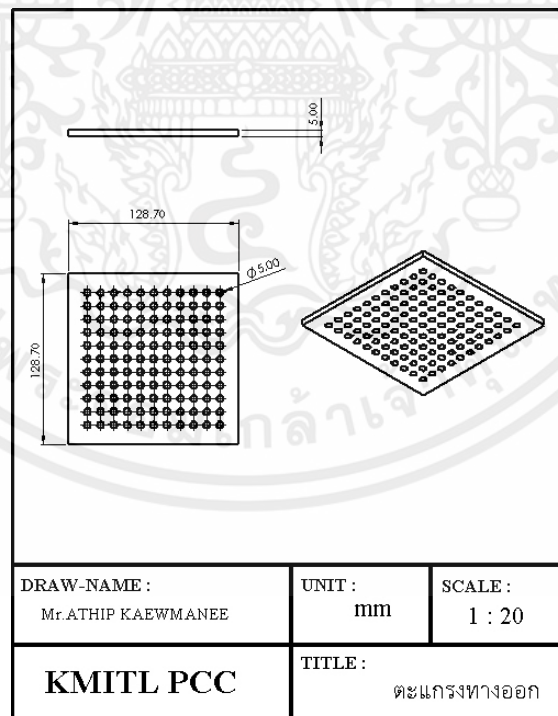


รูปที่ ง.10 ท่อทางออกแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.11 ตุ๋บแห้ง



รูปที่ ง.12 ตะแกรงทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อผู้เขียน	นายบุรธัช เพ็งพะลา
วันเดือนปีเกิด	28 เมษายน พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา	ชลบุรี
ที่อยู่	145/43 ม.5 ต.บ่อวิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230
E-mail	Burathat.pea@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2558
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2561
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างเทคนิคยานยนต์ ณ ศูนย์อู่ชูชีพภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อผู้เขียน	นาย รุ่งโรจน์ ทองสุข
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2540
ภูมิลำเนา	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	13 ม.2 ต.แสงวงหา อ. แสงวงหา จ.อ่างทอง 14150
E-mail	61512017@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2558
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2561
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างอุตสาหกรรม ณ บริษัท เพดเดอร์ล อิเล็กทริก (SHARP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อผู้เขียน	นาย อธิป แก้วมณี
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา ที่อยู่	ชลบุรี 46/33 ม.2 ต.ป่อวิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230
E-mail	atip090441@gmail.com

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ปีการศึกษา 2558
 - สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2561
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างเทคนิคยานยนต์ ณ ศูนย์อู่ซ่อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้