



การจำลองผลและวิเคราะห์ค่าความสบายตัวทางความร้อนของระบบปรับอากาศ
ภายในห้องเรียน
SIMULATION AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE CLASSROOM AIR
CONDITIONING SYSTEM

มกรา วรกุล

MAKARA WORAKUN

อัศม์ญกร คำคง

ATSAYAKORN KOUNKONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองผลและวิเคราะห์ค่าความสบายตัวทางความร้อนของระบบ
ปรับอากาศภายในห้องเรียน
SIMULATION AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE CLASSROOM AIR
CONDITIONING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMULATION AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE CLASSROOM AIR
CONDITIONING SYSTEM



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การจำลองผลและวิเคราะห์ค่าความสบายตัวทางความร้อนของระบบ
ปรับอากาศภายในห้องเรียน

PROJECT TITLE SIMULATION AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE
CLASSROOM AIR CONDITIONING SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นาย มกรา วรกุล รหัสประจำตัว 60512089
นาย อัครมญกร คำคง รหัสประจำตัว 60512108

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อติเรก สุริยะวงศ์

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
ผศ.วรัชชชล	วิฒนะ	กรรมการสอบ	
อาจารย์อติเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการสอบ	
ผศ.วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 เวลา 9.00 - 10.00 น.

สถานที่สอบ ห้องสอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดก่แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การจำลองผลและวิเคราะห์ค่าความสบายตัวทางความร้อนของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน	
PROJECT TITLE	SIMULATION AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE CLASSROOM AIR CONDITIONING SYSTEM	
ชื่อนักศึกษา	นาย มกรา วรกุล	รหัสประจำตัว 60512089
	นาย อัครมญูกร คำคง	รหัสประจำตัว 60512108
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อดิเรก สุริยะวงค์	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะสบายเชิงความความร้อนของห้องที่มีเครื่องปรับอากาศและทำการจำลองวิเคราะห์หาค่า อุณหภูมิ ความเร็วลม พีเอ็มวี และ พีพีดี ซึ่งค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามอัตราการหมุนเวียนอากาศในห้องนั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศและตั้งค่าระดับความเร็วพัดลมและอุณหภูมิให้เหมาะสมกับห้องแต่ละขนาด และเกิดการใช้ประโยชน์จากเครื่องปรับอากาศอย่างคุ้มค่า ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบห้องและจำลองผลค่าต่างๆ ช่างต้น ด้วยโปรแกรมโซลิตเวิร์คโดยศึกษาการออกแบบและเปรียบเทียบห้องเรียนที่มีความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และความสูง 3 m มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 25000 BTU/h ที่อุณหภูมิ 18 °C, 25 °C และ 33 °C และศึกษาอัตราการไหลของอากาศภายในห้อง 3 ระดับ 0.52 , 0.44 และ 0.37 m³/s นอกจากนี้ผู้วิจัยได้คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของผลที่วิเคราะห์ได้และในท้ายที่สุดผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่ากรณีใดที่ให้ค่าสภาวะสบายเชิงความร้อนในห้องมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม

คำสำคัญ: สภาวะสบายเชิงความความร้อน, พีเอ็มวี, พีพีดี, โปรแกรมโซลิตเวิร์ค, เครื่องปรับอากาศ

Project Title	SIMULATION AND ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE CLASSROOM AIR CONDITIONING SYSTEM	
Student	Mr. Makara Worakun	Student ID 60512089
	Mr. Atsayakorn Kumkong	Student ID 60512108
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Mr. Adirek Suriyawong	

ABSTRACT

This research is a study of the thermal comfort of air-conditioned rooms and simulates the values of temperature, wind speed, relative humidity, PMV and PPD. These values change according to the rate of rotation of air classes in the room, with the aim of choosing air conditioners and setting the fan speed to suit each room size to save power. And make the most of the air conditioning. The researchers designed the room and simulated the above values with the SOLIDWORKS program, studying the design and comparison of bedrooms with a width of 5.9 m 7.5 m length and 3 m height with 25000 BTU/h air conditioning at 18 °C, 25 °C and 33 °C .And studied volume flow rate of 3 levels 0.52, 0.44 and 0.37 m³/s In addition, the researchers calculated the tolerances of the analytical results, and ultimately the researchers were able to conclude which cases provided the appropriate level of thermal comfort in the room.

Keywords: Thermal comfort, PMV, PPD, Solid works, Air-conditioner

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์อิเรก สุริยะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นທີ່เคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะสบายเชิงความร้อนของห้องที่มีเครื่องปรับอากาศและทำการจำลองวิเคราะห์หาค่า อุณหภูมิ ความเร็วลม พีเอ็มวี และ พีพีดี

นาย มกรา วรรณกุล

นาย อัครมญกร คำคง

2 กรกฎาคม 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 แผนการดำเนินการ	3
1.6 ระยะเวลาดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การศึกษาสภาวะความสบาย	6
2.2 ทฤษฎีสภาวะสบายภายในห้อง	9
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย	12
2.4 ปัจจัยทางบุคคล (Personal factors)	14
2.5 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing)	15
2.6 มาตรฐานของความสบายทางความร้อน (Comfort standards)	18
2.7 การวัดค่าดัชนีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method)	21
2.8 การคำนวณ BTU ของเครื่องปรับอากาศให้พอดีกับขนาดห้อง	24
2.9 ทฤษฎีโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS)	25
2.10 การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent Flow)	37
2.11 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method)	41

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.12 การประมาณค่าของอินทิกรัลพื้นผิว	44
2.13 กระบวนการหาคำตอบ (Solution algorithm)	48
2.14 ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ	51
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	52
3.1 ศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรม	53
3.2 กรณีศึกษาสถานที่ทำการสำรวจและกลุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย	53
3.3 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย	54
3.4 การเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองสถานการณ์กับกรณีศึกษาจริง	59
3.5 การทำการทดลอง	65
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	65
3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล	70
บทที่ 4 ผลการดำเนินการและอภิปรายผล	72
4.1 วิเคราะห์แบบจำลองห้องเรียนภายในห้องเรียนที่มีขนาดความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m	72
4.1.1 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.52 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 18 °C (25,000 BTU/h)	76
4.1.2 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 18 °C (25,000 BTU/h)	79
4.1.3 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.37 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 18 °C (25,000 BTU/h)	81
4.1.4 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.37 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 25 °C (25,000 BTU/h)	83
4.1.5 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 25 °C (25,000 BTU/h)	86

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.6 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.37 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 25°C (25,000 BTU/h)	88
4.1.7 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.52 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 33°C (25,000 BTU/h)	90
4.1.8 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 33°C (25,000 BTU/h)	93
4.1.9 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m ³ /s ที่อุณหภูมิ 33°C (25,000 BTU/h)	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผลการทดสอบ	97
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	97
5.3 ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	101
ภาคผนวก ก การป้อนข้อมูลโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation	102
2020	
ประวัติผู้จัดทำ	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ระยะเวลาทำโครงการ และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	5
2.1	แสดงสถิติอุณหภูมิของแต่ละจังหวัดในเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2564 จากกรมอุตุนิยมวิทยา	8
2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ส่งผลต่อความรู้สึก	13
2.3	ระดับการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ	14
2.4	สัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ	17
2.5	การวัดค่าดัชนีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method)	21
2.6	สมการสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนของแบบจำลอง $k - \epsilon$ ให้อยู่ในรูปแบบของเทนเซอร์	39
3.1	แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมภายในห้องการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ณ ตำแหน่งต่างๆของห้องในกรณีศึกษา	60
3.2	แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิภายในจากการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ณ ตำแหน่งต่างๆของห้องกรณีศึกษา	62
4.1	อุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ	72
4.2	อุณหภูมิด้านลมจ่าย	73
4.3	อุณหภูมิด้านลมเข้า	73
4.4	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV,PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$	75
4.5	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV,PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$	78
4.6	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV,PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$	80
4.7	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV,PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$	82

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.8	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ 0.44 m ³ /s	85
4.9	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ 0.37 m ³ /s	87
4.10	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ 0.52 m ³ /s	89
4.11	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ 0.44 m ³ /s	92
4.12	ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ 0.37 m ³ /s	94

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างวัตถุสองชนิดที่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนสามารถแผ่รังสีออกมาจากร่างกาย	10
2.2	การกระจายความร้อนโดยการพาความร้อนจะต้องมีการเคลื่อนที่ของของเหลวรอบๆ ร่างกาย	11
2.3	ความร้อนจะถูกดำเนินการผ่านผนังจากที่สูงขึ้นไปถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า	12
2.4	ตัวอย่างเสื้อผ้าที่สวมใส่	15
2.5	ช่วงขอบเขตที่รู้สึกสบาย ASHRAE Standard 55 - 2010	18
2.6	แสดง Bioclimatic chart แสดงตำแหน่ง Comfort zone ที่ขึ้นกับ 6 ปัจจัย	19
2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และ PPD	22
2.8	ตัวอย่างการวิเคราะห์การไหลของอากาศภายในห้อง	25
2.9	ปัจจัยด้านความสบายของมนุษย์ด้วยโมดูล HVAC	26
2.10	ทรงเหลี่ยมหกหน้า (Hexahedral)	27
2.11	สมการรูปทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์แบบเมทริกซ์ (Matrix)	28
2.12	แรงที่กระทำต่อเอลิเมนต์ (f) ที่ทำให้โหนดมีการเคลื่อนที่ (u)	29
2.13	โหนดในเอลิเมนต์ 3 มิติ	29
2.14	ประกอบของความเร็วที่ขึ้นกับเวลา	31
2.15	ปริมาตรควบคุม 3 มิติ	41
2.16	การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง	43
2.17	การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง	44
2.18	การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก	45
2.19	ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ	51
3.1	ห้องที่ใช้ในการศึกษาทดลอง	53
3.2	ห้องที่เขียนในโปรแกรม SOLIDWORKS	54
3.3	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (GM320 Beneath)	54
3.4	เครื่องวัดความเร็วลม-วัดอุณหภูมิ (DIGICON DA-43A)	55
3.5	ตลับเมตร Stanley 30-696N Tylo Measuring Tape 5 m	55
3.6	เครื่องวัดความเร็วลม (Testo 405-V1)	56

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.7	มิเตอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (DIGICON TH-02)	56
3.8	เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบมือ (DIGICON HT-776)	57
3.9	แสดงภาพจากการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงลักษณะการระบายอากาศโดยรวมของพื้นที่ แบบสามมิติ ภาพแนวราบจากด้านบน และแนวตั้งจากด้านข้างของห้องกรณีตัวอย่างศึกษาห้องปรับอากาศ	64
3.10	แสดงภาพจากการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงลักษณะการระบายอากาศโดยรวมของพื้นที่แบบสามมิติ และอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมในพื้นที่จริง	65
3.11	วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง	67
3.12	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง	67
3.13	ออกแบบอุปกรณ์และติดตั้งเครื่องวัดเครื่องวัดความเร็วลมและความชื้น (Testo 405-V1) และเครื่องวัดความเร็วลมและวัดอุณหภูมิ (DIGICON DA-43A) แทนวัด	68
3.14	ตำแหน่งในแต่ละจุดที่ใช้ในการวัดค่าความเร็วลม,อุณหภูมิ	68
3.15	การวัดความเร็วลมและอุณหภูมิของแอร์ที่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศ	69
3.16	การวัดความเร็วลมและอุณหภูมิของลมที่เข้าไปในเครื่องปรับอากาศ	69
3.17	แผนผังการดำเนินงานวิจัย	71
4.1	แสดงค่า enthalpy ช่องลมจ่าย	73
4.2	แสดงค่า enthalpy ช่องลมเข้า	74
4.3	แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ 18 °C และอัตราการไหล 0.52 m ³ /s	75
4.4	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	76
4.5	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	76
4.6	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	77
4.7	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	78
4.8	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	79
4.9	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	79
4.10	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	80
4.11	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	81

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	81
4.13	แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ 25 °C และอัตราการไหล 0.5 m ³ /s	82
4.14	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	83
4.15	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	83
4.16	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	84
4.17	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	85
4.18	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	86
4.19	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	86
4.20	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	87
4.21	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	88
4.22	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	88
4.23	แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ 33 °C และอัตราการไหล 0.52 m ³ /s	89
4.24	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	90
4.25	แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	90
4.26	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	91
4.27	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	92
4.28	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	93
4.29	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	93
4.30	แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	94
4.31	แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	95
4.32	แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง	95
ค.1	แบบจำลองห้องที่ออกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS ขนาด 44 m ²	101
ค.2	แสดงตำแหน่งคำสั่ง Wizard	101
ค.3	หน้าต่าง Wizard	102
ค.4	หน้าต่างการเลือกหน่วยที่ใช้	103
ค.5	หน้าต่างการเลือกประเภทการวิเคราะห์	104

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.6	หน้าต่างการเลือกชนิดของไหลที่ใช้	105
ค.7	หน้าต่างการเลือกชนิดของแข็งที่ใช้	105
ค.8	หน้าต่างตั้งค่าผนังและความเรียบ	106
ค.9	หน้าต่างตั้งค่าข้อมูลเริ่มต้น	107
ค.10	หน้าต่างการกำหนดชนิดวัสดุในห้องปรับอากาศ	107
ค.11	หน้าต่างการกำหนด Inlet Volume Flow	108
ค.12	หลอดไฟ ED TUBE T8 PERFECT ECO 36W/54	109
ค.13	โทรทัศน์ Provision Smart TV ขนาด 65 in รุ่น DSPK6500U 200 W	109
ค.14	TOA PC-2852 ลำโพงฝังฝ้าเพดาน 8 in 70/100 W	110
ค.15	dell รุ่น OptiPlex 24 7000 Series All-in-One (7440)	110
ค.16	การกำหนดความละเอียดของ Mesh ที่ใช้ในการคำนวณ	111
ค.17	แสดงตำแหน่ง Run	111
ค.18	หน้าต่างกำหนดการคำนวณผลเฉลย	112
ค.19	แสดงทิศทางการอัตราการไหลของอากาศ ในห้องขนาด 44 m ³	113

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
σ	$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
T_1	อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุที่หนึ่ง (K)
T_2	อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุที่สอง (K)
ε	อัตราส่วนของรังสีที่เปล่งออกมาจากพื้นผิววัตถุ
Q	ปริมาณความร้อนทั้งหมด (J)
H	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2\text{K}$)
A	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)
T_s	อุณหภูมิพื้นผิว ($^{\circ}\text{C}$)
T_f	อุณหภูมิของเหลว ($^{\circ}\text{C}$)
K	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุ ($^{\circ}\text{C}$)
A	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)
T_1	อุณหภูมิของแท่งวัตถุอันที่หนึ่ง ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	อุณหภูมิของแท่งวัตถุอันที่สอง ($^{\circ}\text{C}$)
L	ความยาวของแท่งวัตถุ (m)
t_r	mean radiant temperature ($^{\circ}\text{C}$)
t_g	อุณหภูมิของ Globe Thermometer ($^{\circ}\text{C}$)
t_a	อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของ (m)
ε	ค่าการดูดซับความร้อน (emissivity = 0.95)
L	ความร้อนของร่างกาย (W/m^2)
M	อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (W/m^2)
W	พลังงาน (W/m^2)
f_{cl}	ปัจจัยของเครื่องแต่งกาย
t_{cl}	อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเครื่องแต่งกาย
h_c	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน [$\text{W}/(\text{m}^2 \times ^{\circ}\text{C})$]

สัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
V	ความเร็วลม (m/s)
R_{cl}	ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า
I_{clo}	ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า
M	อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย
L	ความร้อนที่สูญเสียจากร่างกาย
H_r	เอนทาลปีของลมกลับ
H_s	เอนทาลปีของลมจ่าย
H_r, H_s	สามารถหาได้จาก แผนภูมิไซโครเมตริก
k	เมทริกซ์ความแข็งแกร่ง (Stiffness Matrix)
f	ค่าแรงที่มากระทำต่อเอลิเมนต์
d	ความเคลื่อนที่อิสระของโหนดเอลิเมนต์ (DOF)
ρ	ความหนาแน่นของการไหล
u_j	ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x, y และ z
$\frac{t_{ji}}{pu_j u_i}$	เทรนเซอร์ความเค้นจากความหนืด
p	เทรนเซอร์ความเค้นของเรย์โนลด์
g_j	ความดัน
	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงในแนวแกน x, y และ z
β	สัมประสิทธิ์การขยายปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ
T	อุณหภูมิ
T_i	อุณหภูมิอ้างอิง
S_{ij}	คราอนเนคเกอร์เดลต้า
u_j	ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x, y และ z
h	เอนทาลปี
\bar{k}	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
C_P	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่
σ_T	แพรด์ทอลนัมเบอร์ของความปั่นป่วน
σ_k	ค่าคงที่ 1.0
D	ความดัน
P	พจน์เสริมของสมการพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน
μ	ความหนืดพลศาสตร์
P_k	การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากความเค้น
G_k	การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากแรงลอยตัว
ε	อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน
$C_{\varepsilon n}$	ค่าคงที่ 1.92
f_{sl}	ฟังก์ชันการหน่วงของแบบจำลองความปั่นป่วน
P_k	การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากความเค้น
G_k	การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากแรงลอยตัว
$\frac{\varepsilon}{k}$	อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ปั่นป่วนส่วนด้วยพลังงานปั่นป่วน
u_∞	ความเร็วอิสระ
x	ระยะจากจุดเริ่มต้น
V	ความหนืดของของเหลว
\vec{u}	เวกเตอร์ความเร็ว
A	พื้นที่ผิวของปริมาตร
Γ_ϕ	สัมประสิทธิ์การแพร่
ϕ, ∇_ϕ	ค่าความชื้น
S_ϕ	ตำแหน่งกำเนิด (Source) ของ ϕ ต่อปริมาตร

สัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์

N_{face}

u_n

A_f

ความหมายสัญลักษณ์

เป็นจำนวนผนังล้อมรอบปริมาตร

ความเร็วที่ผนังปริมาตร

แทนพื้นที่ผิวที่พิจารณา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันภายในห้องเรียนที่มีการเรียนการสอนสิ่งอุปกรณ์ที่จำเป็นที่อีกอย่างหนึ่งเลยคือ เครื่องปรับอากาศ (Air conditioner) คือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ปรับสภาพอากาศรอบตัวของผู้ใช้งานเพื่อให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในสภาวะที่สบาย (Comfort zone) ปัจจัยหลักที่มีผลต่อสภาวะความสบายตัว คืออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของกระแสลมที่พัดผ่านตัว และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ซึ่งถ้ามีอย่างใดอย่างหนึ่งมากเกินไปหรือน้อยเกินไปก็จะส่งผลในด้านลบต่อตัวเรา เช่น อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปและมีความชื้นที่น้อยเกินไป ก็จะทำให้ตัวเรานั้นรู้สึกหนาวแล้วมีผิวที่แห้ง ทำให้รู้สึกไม่สบายกับสภาวะลักษณะนี้ [1] หรือถ้ามีความชื้นมากเกินไปสำหรับสภาวะความสบาย ก็อาจจะทำให้เฟอร์นิเจอร์และผ้าภายในห้องเกิดเชื้อราขึ้นมาได้

ผลจากการศึกษาพบว่าประเทศไทยเป็นเมืองที่ร้อนทำให้คนไทยนิยมใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้น จากการสำรวจการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศภายในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง[6] แต่นอกจากการที่เราจะเลือก BTU ของเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับห้องซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพความเย็นโดยตรงแล้วนั้น สิ่งที่เราควรคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่งก็คือ สภาวะความสบายตัว (Thermal comfort) โดยจะมี “Thermal comfort of people from two types of air-conditioned buildings- Evidences from chamber experiments” ซึ่งในบทความนี้จะนำคนที่มีความสุขดีประมาณ 60 คน มาอยู่ร่วมกันที่ครั้งหนึ่งเคยอยู่ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลางส่วนอีกครั้งหนึ่งมาจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยจะให้มาอยู่ในอุณหภูมิและความชื้นที่หลากหลายในห้องเดียวกันแล้วดูว่า ความรู้สึกว่าอากาศร้อนหนาวของแต่ละกลุ่มนั้นรู้สึกพร้อมกันหรือไม่หรือแตกต่างกันเพียงใด [3],

งานวิจัย “Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls” ซึ่งในบทความนี้จะศึกษาสภาวะสบายทางความร้อนและลักษณะการไหลของอากาศในร่มสำหรับห้องที่เปิดหน้าต่างที่อยู่ติดกัน ใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อศึกษาการไหลของอากาศภายในอาคารสำหรับห้องพักแบบสามมิติ[6] งานวิจัย “Thermal preference and comfort assessment in air-conditioned and naturally-ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil” ซึ่ง ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาภาคสนามในเมือง ภูมิอากาศเส้น

ศูนย์สูตรที่ร้อนและชื้น) เพื่อประเมินสภาพความร้อนที่ต้องการและสบายที่สุดในบริบทนี้ การตรวจสอบเกิดขึ้นในห้องเรียนที่มีการปรับอากาศและอากาศถ่ายเทได้โดยธรรมชาติซึ่งมีการวัดค่าพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมพร้อมกับการใช้แบบสอบถามกับนักศึกษาระดับปริญญาตรีเพื่อการประเมินความร้อน [5]

จากข้อมูลดังกล่าวการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการใช้งานโปรแกรม โปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predicted mean vote, PMV) และศึกษาผลและศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม (PMV) ภายในห้องเรียนที่มีขนาดความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

1.2.1 ศึกษาการใช้งานโปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน (Solidwork flow simulation) เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predicted mean vote, PMV) และเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ภายในห้อง (Prediction Percent Dissatisfied, PPD)

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยของ ความเร็วลม และอุณหภูมิที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องปรับอากาศ ที่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predicted mean vote, PMV) และเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ภายในห้อง (Prediction Percent Dissatisfied, PPD) ภายในห้องเรียนที่มีขนาดความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m

1.2.3 ใช้งานโปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน (Solidwork flow simulation) วิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมของค่า PMV และ PPD ภายในห้องเรียนที่มีขนาดความกว้าง 5.9 m, ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m ในกรณีศึกษา

1.3 ขอบเขตของปัญญานิพนธ์

1.3.1 ใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน (Solidwork flow simulation) ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predicted mean vote, PMV) และ เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ภายในห้อง (Prediction Percent Dissatisfied, PPD)

1.3.2 ขนาดห้องที่ทำการทดสอบ มีขนาดความกว้าง 5.9 m, ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m

1.3.3 ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดของBTU/h 25,000 จำนวน 2 เครื่อง

1.3.4 อัตราการไหลที่ใช้เครื่องปรับอากาศในการทดสอบคือ 0.52 , 0.44 และ 0.37 m³/s

1.3.5 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 18 °C , 25 °C และ 33 °C

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน (Solidwork flow simulation) ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีเฉลี่ยความรู้สึกร่อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predicted mean vote, PMV) และ เปอร์เซนต์ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ภายในห้อง (Prediction Percent Dissatisfied, PPD)

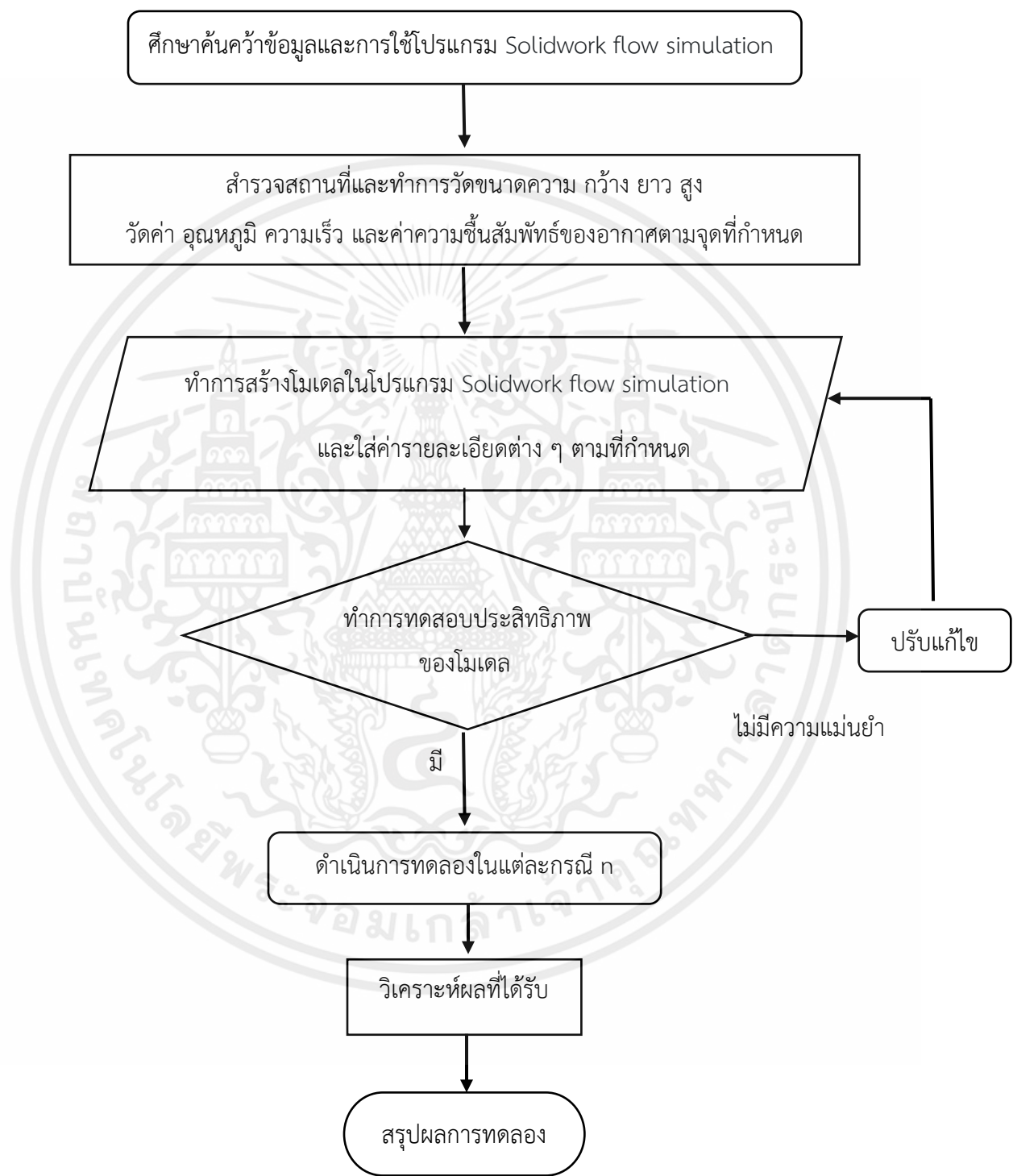
1.4.2 ได้วิเคราะห์ค่าความแตกต่างของดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร่อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (PMV) และ (PPD) จากโปรแกรม Solid work flow simulation ในแต่ละกรณี

1.4.3 ได้ทราบปัจจัยที่เหมาะสมของค่า (PMV) และ (PPD) ของห้องที่ใช้ในการทดสอบ

1.4.4 ได้ทราบถึงอุณหภูมิและอัตราการไหลที่เหมาะสมกับการใช้งานในห้องเรียนภายในห้องปรับอากาศที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย ณ เวลาที่การรับรู้อุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ



1.5 แผนดำเนินงาน Flowchart ที่เกี่ยวกับกระบวนการทดลองทั้งหมด โดยสรุปไว้ดังนี้



1.6 ระยะเวลาดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาทำโครงการ และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

หัวข้อ	ระยะเวลาดำเนินการ ปี พ.ศ. 2563 - 2564											
	มิ.ย. 63	ก.ค. 63	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.ษ. 64	พ.ค. 64
ศึกษาและ ค้นคว้าข้อมูล	←→											
สำรวจสถานที่ และวัดขนาด		←→										
สร้างโมเดล และบอกขนาด				←→								
ตรวจสอบ ประสิทธิภาพ ขอแบบจำลอง						←→						
ทดสอบ และรวบรวม ผล								←→				
วิเคราะห์ และ สรุปผล										←→		

หมายเหตุ : ←→ แสดงถึงแผนงานที่ดำเนินการไปแล้ว

←→ แสดงถึงงานที่กำลังดำเนินการ

←→ แสดงถึงแผนการดำเนินงานในครั้งต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาสภาวะสบาย (thermal comfort) ของนักเรียนภายในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ จำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะความสบายทางความร้อน (Comfort Standards) โดยจะมีหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาวะสบายภายในความสบายเชิงอุณหภูมิแบบปรับตัว (Adaptive Thermal Comfort) ในมาตรฐานของความสบาย (ASHRE-55,2004) เป็นกลยุทธ์ใหม่ในการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency) ตามบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อนนี้จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยและทำการสำรวจสภาวะความสบายของนักศึกษาภายในห้อง โดยอาศัยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks2020) และ โซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน (SOLIDOWORLS Flow Simulation) ช่วยในการตรวจสอบสภาวะสบายและสามารถดูการไหลของอากาศได้ว่าผู้ใช้ภายในห้องได้รับความสบายหรือไม่ และเพื่อที่จะให้สภาวะสบายนั้นเป็นสภาวะตัวแทนของคนที่อยู่ภายในห้องได้อย่างเหมาะสม

2.1 การศึกษาสภาวะสบาย

สภาวะสบาย คือ แปลมาจากภาษาอังกฤษว่า (thermal comfort) มีความหมายว่า สภาวะจิตใจที่แสดงความพอใจในสภาพแวดล้อมที่มีอยู่ (ASHRAE Standard 55-2004) และความสมดุลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยจะทำการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ทั้งปัจจัยทางสภาพอากาศซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ รังสีความร้อนความชื้น และความเร็วลม และปัจจัยทางด้านบุคคล (Personal factors) ได้แก่ กิจกรรมที่กระทำอยู่หรือค่าการเผาผลาญอาหารในร่างกายและเสื้อผ้าที่สวมใส่หรือค่าความเป็นฉนวน ซึ่งได้ผลสรุปออกมาเป็นการกำหนดขอบเขตสภาวะสบายและ ค่ามาตรฐานสภาวะสบายค่าสำรวจ (Predicted mean vote, PMV) และ (Prediction Percent Dissatisfied, PPD) จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่านอกจากปัจจัยหลักทั้ง 2 แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกหลายปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการศึกษาสภาวะสบาย ซึ่งเป็นผลมาจากการศึกษาสภาวะสบายในภาคสนามทำให้เกิดทฤษฎีรูปแบบการปรับตัวทั้งนี้ รูปแบบการปรับตัวเพื่อให้อยู่อย่างสบายยังสามารถแบ่งได้เป็นการปรับตัวเองและการปรับสภาพแวดล้อม ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างสภาวะสบายและสภาพทางภูมิศาสตร์ท้องถิ่นได้อย่างสอดคล้อง [8]

การศึกษาสภาวะความสบายภายในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศมีผลคืออยู่หลายอย่างด้วยกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของมนุษย์ก็คือพลังงาน และสุขภาพ มีข้อสังเกตว่าความสามารถของมนุษย์จะมีมากที่สุดเมื่อตอนที่มนุษย์รู้สึกสบายมากที่สุด การตอบสนองของมนุษย์ที่มีความต้องการอยู่ในสภาวะความสบายจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของมนุษย์ทั้งการทำงานและการรับรู้ นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้จากการศึกษามาประกอบกับการออกแบบภายในห้องให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมให้เกิดประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงานการปรับปรุงคุณภาพอากาศและลดอัตราการป่วยที่มีสาเหตุจากอากาศในห้อง [9]

ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีค่อนข้างสูง โดยสามารถแบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดู ดังนี้ฤดูร้อน (ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม) ฤดูฝน (ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) ฤดูหนาว (ระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) ซึ่งอุณหภูมิในช่วงของวันและฤดูกาล ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่อุณหภูมิฤดูร้อนเมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวัน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คืออากาศร้อนมีอุณหภูมิระหว่าง 35 - 39.9 °C และ อากาศร้อนจัดมีอุณหภูมิตั้งแต่ 40 °C ขึ้นไปมีลมมรสุมพัดผ่าน 2 ช่วง คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมมรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนทั่วไป และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลียและจีนจึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ห้องฟ้าโปร่งอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไปความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี

ตารางที่ 2 คาดหมายอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) และเปรียบเทียบกับค่าปกติ

ภาค	คาดหมาย						ค่าปกติ											
	กุมภาพันธ์ 2564			มีนาคม 2564			เมษายน 2564			กุมภาพันธ์			มีนาคม			เมษายน		
	สูงสุด เฉลี่ย	ต่ำสุด เฉลี่ย	เทียบกับ ค่าปกติ	สูงสุด เฉลี่ย	ต่ำสุด เฉลี่ย	เทียบกับ ค่าปกติ	สูงสุด เฉลี่ย	ต่ำสุด เฉลี่ย	เทียบกับ ค่าปกติ	สูงสุด เฉลี่ย	ต่ำสุด เฉลี่ย	เทียบกับ ค่าปกติ	สูงสุด เฉลี่ย	ต่ำสุด เฉลี่ย	เทียบกับ ค่าปกติ	สูงสุด เฉลี่ย	ต่ำสุด เฉลี่ย	เทียบกับ ค่าปกติ
เหนือ	33-35	17-19	ใกล้เคียง ค่าปกติ	35-37	20-22	ต่ำกว่า ค่าปกติ	36-38	22-24	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33.7	17.2	ต่ำกว่า ค่าปกติ	36.1	20.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ	37.1	23.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	32-34	19-21	ใกล้เคียง ค่าปกติ	34-36	22-24	ต่ำกว่า ค่าปกติ	35-37	24-26	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33.0	19.7	ต่ำกว่า ค่าปกติ	35.1	22.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ	36.1	24.5	ต่ำกว่า ค่าปกติ
กลาง	33-35	22-24	ใกล้เคียง ค่าปกติ	35-37	23-25	ต่ำกว่า ค่าปกติ	36-38	25-27	ต่ำกว่า ค่าปกติ	34.6	22.6	ต่ำกว่า ค่าปกติ	36.1	24.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ	37.0	25.5	ต่ำกว่า ค่าปกติ
ตะวันออก	32-34	22-24	ใกล้เคียง ค่าปกติ	33-35	24-26	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33-35	25-27	ต่ำกว่า ค่าปกติ	32.9	23.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33.8	24.9	ต่ำกว่า ค่าปกติ	34.7	25.9	ต่ำกว่า ค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	31-33	22-24	ใกล้เคียง ค่าปกติ	32-34	23-25	ใกล้เคียง ค่าปกติ	33-35	24-26	ต่ำกว่า ค่าปกติ	31.4	22.7	ต่ำกว่า ค่าปกติ	32.6	23.7	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33.7	24.6	ต่ำกว่า ค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	32-34	22-24	ใกล้เคียง ค่าปกติ	33-35	23-25	ใกล้เคียง ค่าปกติ	33-35	24-26	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33.8	23.0	ต่ำกว่า ค่าปกติ	34.4	23.7	ต่ำกว่า ค่าปกติ	34.2	24.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ
กรุงเทพฯ และ ปริมณฑล	33-35	23-25	ใกล้เคียง ค่าปกติ	33-35	25-27	ต่ำกว่า ค่าปกติ	34-36	26-28	ต่ำกว่า ค่าปกติ	33.3	24.4	ต่ำกว่า ค่าปกติ	34.3	25.9	ต่ำกว่า ค่าปกติ	35.4	26.6	ต่ำกว่า ค่าปกติ

หมายเหตุ - ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

- การคาดหมายมีขึ้นจากการคาดหมายโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศและวิธีทางสถิติ และเป็นการประมาณในระยะยาว ควรติดตามการพยากรณ์อากาศประจำวันจากกรมอุตุนิยมวิทยาด้วย
- ภาคเหนือ 1 ราย 3 เดือนครึ่งต่อไป จะประกาศในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนถัดไป
- สอบถามรายละเอียดการพยากรณ์อากาศรายเดือน ราย 3 เดือนและรายฤดู ได้ที่โทร: 02-5989229 โทรสาร: 02-5888827
- ติดตามข่าวสารพยากรณ์อากาศรายเดือน ราย 3 เดือนและรายฤดู ได้ที่ www.tmd.go.th

ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

www.climate.tmd.go.th

ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา
กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

ตารางที่ 2.1 แสดงสถิติอุณหภูมิของแต่ละจังหวัดในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2564

จากกรมอุตุนิยมวิทยา [6]

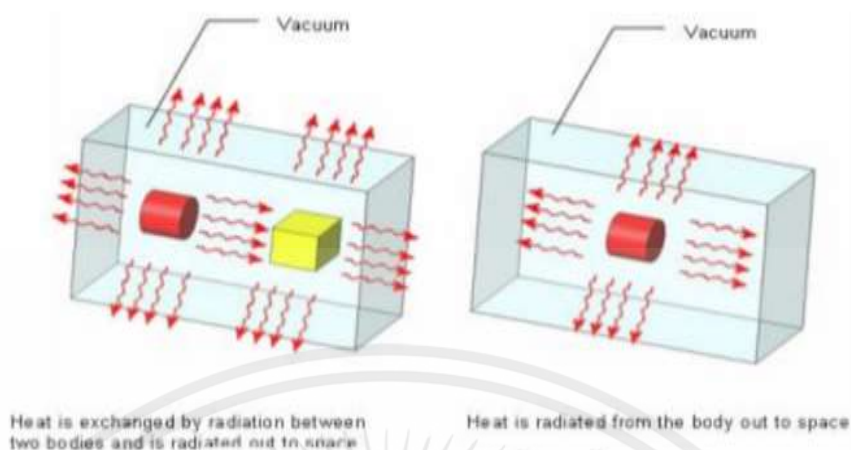
2.2 ทฤษฎีสภาวะสบายภายในห้อง

2.2.1 หลักการของสภาวะน่าสบาย (Principles Of Thermal Comfort) ร่างกายมนุษย์เปรียบได้ตั้งเครื่องจักร ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นพลังงาน การผลิตพลังงานเราต้องอาศัยอาหารและออกซิเจนเป็นวัตถุดิบในสภาวะที่ร่างกายปกติ การเผาผลาญอาหารเพื่อผลิตพลังงานในการดำรงชีวิต ร่างกายจะใช้พลังงานร้อยละ 20 เพื่อการใช้งานทั่วไปและอีกร้อยละ 80 จะเป็นการถ่ายเทออกสู่สภาพแวดล้อม [5] ระบบของร่างกายจะต้องรักษาอุณหภูมิภายในไว้ที่ $37^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ในความพยายามที่จะรักษาสภาวะสมดุลของร่างกาย อัตราการผลิตพลังงานของร่างกายต้องเท่ากับอัตราการระบายความร้อนออกไปด้วยการระบายความร้อนของร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมแบ่งได้ดังนี้ [10]

2.2.2 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) [7] เมื่อวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา คลื่นที่อยู่ในช่วงของอินฟราเรดเรียกว่า คลื่นความร้อน เนื่องจากคนเราสามารถสัมผัสได้ถึงรังสีความร้อน เช่น คนนั่งผิงไฟ นั่งข้างกองไฟ ก็เป็นการได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนหรือการกางร่มไว้ที่กลางแดด แม้แต่ในที่ร่มจะอยู่ในที่ร่มก็ยังมีรังสีถึงความร้อนเพราะความร้อนมันแผ่ออกมาดังนั้นการแผ่รังสีเป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อน การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศได้

$$Q_{\text{radiation}} = \sigma \varepsilon (T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

เมื่อ	σ	คือ 5.67×10^{-8} (W/m ² K ⁴)
	T_1	คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุที่หนึ่ง (K)
	T_2	คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุที่สอง (K)
	ε	คือ อัตราส่วนของรังสีที่เปล่งออกมาจากพื้นผิววัตถุ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1



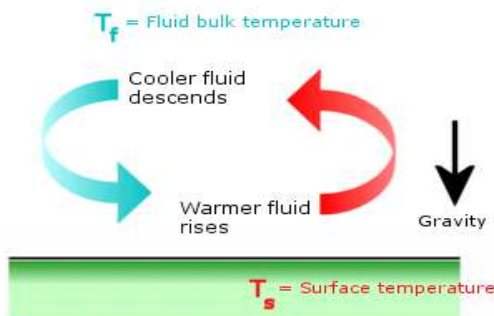
รูปที่ 2.1 การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างวัตถุสองชนิดที่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนสามารถแผ่รังสีออกมาจากร่างกาย [11]

2.2.3 การพาความร้อน (Convection) คือ สามารถเกิดขึ้นได้ในสสาร 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซเพราะเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น สาเหตุมาจากเมื่อสสารได้รับความร้อนก็จะมี การขยายตัว เป็นเหตุให้ความหนาแน่นลดต่ำและสสารมีอุณหภูมิต่ำกว่าแต่ความหนาแน่นสูงกว่าก็จะมาแทนที่

$$Q_{convection} = HA(T_s - T_f) \quad (2.2)$$

เมื่อ

- H คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)
- T_s คือ อุณหภูมิพื้นผิว ($^{\circ}C$)
- T_f คือ อุณหภูมิของเหลว ($^{\circ}C$)

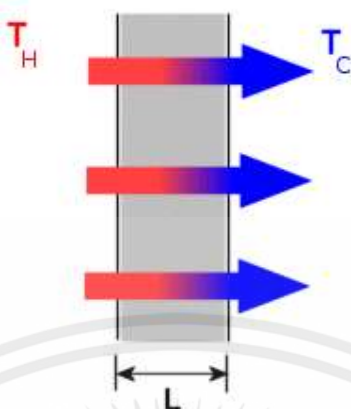


รูปที่ 2.2 การกระจายความร้อนโดยการพาความร้อนจะต้องมีการเคลื่อนที่ของของเหลวรอบๆร่างกาย[11]

2.2.4 การนำความร้อน (Conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่เคลื่อนที่ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการสัมผัสกับวัตถุนั้นโดยตรง เช่น การสูญเสียความร้อนด้วยการยืนเท้าเปล่าบนพื้นที่ยื่น การรับความร้อนจากการสัมผัสกับวัตถุที่ร้อน

$$Q_{conduction} = KA(T_1 - T_2) / L \quad (2.3)$$

เมื่อ	K	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุ ($^{\circ}C$)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)
	T_1	คือ อุณหภูมิของแท่งวัตถุอันที่หนึ่ง ($^{\circ}C$)
	T_2	คือ อุณหภูมิของแท่งวัตถุอันที่สอง ($^{\circ}C$)
	L	คือ ความยาวของแท่งวัตถุ (m)



รูปที่ 2.3 ความร้อนจะถูกดำเนินการผ่านผนังจากที่สูงขึ้นไปถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า [11]

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะสบายแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ

2.3.1 ปัจจัยทางสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Factors) ตัวแปรต่างๆ ในเรื่องสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย 4 ตัวแปร ได้แก่

1) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) คือ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้บุคคลเกิดความสบาย เพราะเมื่ออุณหภูมิจะเป็นตัวบอกความร้อนหรือเย็นของอากาศสูงก็จะทำให้การนำความร้อนและการพาความร้อนจากร่างกายไปสู่บรรยากาศนั้นทำได้ไม่ดีนัก แต่ในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิอากาศไม่สูงการนำความร้อนและการพาความร้อนจากร่างกายก็จะทำได้ดีพบว่าคนที่อยู่อาศัยในเขตร้อนชื้นจะรู้สึกสบายเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิ 23.3 – 29.4 °C [12]

2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ ค่าเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละของความชื้นในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เรารู้สึกร้อนหรือเย็น เนื่องจากร่างกายจะถ่ายเทความร้อนออกมา กับเหงื่อ ถ้าความชื้นสูงเหงื่อจะระเหยได้ช้าการถ่ายเทความร้อนจึงทำได้ยาก เมื่อเกิดความรู้สึกร้อนและเหนียวตัว แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปน้ำที่ผิวหนังจะระเหยเร็วทำให้ผิวหนังแห้งจนทำให้รู้สึกไม่สบายตัวได้

3) ความเร็วอากาศภายในห้อง (Air speed) คือ อีกหนึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการรักษาสมดุลของร่างกายทั้งในส่วนการพาความร้อนจากร่างกายระหว่างผิวหนังกับอากาศ และเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงแต่มีลมพัดผ่านอยู่เสมอ ก็ทำให้สามารถพาความร้อนออกจากร่างกายไปได้มากกว่าไม่มีลมหรือความเร็วลมมีค่าน้อย แต่ถ้าค่าความเร็วในอากาศนั้นมีค่ามากเกินไปอาจจะทำให้มนุษย์รู้สึกไม่สบายเนื่องจากการรำคาญได้ลมที่พัดผ่านร่างกายจะช่วยระบายร้อนออกจากร่างกาย เนื่องจากช่วยเพิ่มกระบวนการคายน้ำของร่างกาย ทำให้อุณหภูมิภายในร่างกายลดลง สภาวะน่าสบายจะเกิดขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้ความเร็วลม 0.25 – 1.00 m/s

โดยที่ความเร็วลม 0.25 – 0.50 m/s จะทำให้เกิดความรู้สึกสบาย ในขณะที่ความเร็วลม 0.50 – 1.00 m/s จะเป็นสภาวะสบายที่สัมผัสได้ถึงพัดของลมดังตารางที่ 2.2

ความเร็วลม	ความรู้สึก
0.00 - 0.25 m/s	ไม่รู้สึกถึงลม
0.25 - 0.50 m/s	เริ่มรู้ว่ามีลมเคลื่อนไหวของอากาศ
0.50 - 1.00 m/s	รับรู้ว่ามีลมเคลื่อนไหวของอากาศ
1.00 - 1.50 m/s	เริ่มรู้สึกลมทำให้เกิดความรบกวน
> 1.50 m/s	รู้สึกรบกวน

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ส่งผลต่อความรู้สึก [8]

4) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiation Temperature) MRT คือ ค่าเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดที่ตกกระทบโดยตรงกับมนุษย์ด้วย MRT โดยใช้มุมกระทำ (Angle factor) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRI [9] เป็นสาเหตุสำคัญมากกว่าอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากการที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบแตกต่างกันไปจากอุณหภูมิอากาศของ MRT เท่ากับ 1.4 °C ของอุณหภูมิอากาศ (Dry bulb temperature) เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบเราต่ำกว่าอุณหภูมิ 1.3 °C เราจะรู้สึกเย็นลงกว่าเดิม 1.40 °C อุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมและมุมกระทบระหว่างมนุษย์กับพื้นผิวนั้นๆ ซึ่ง MRT มีผลต่อสภาวะน่าสบายถึงร้อยละ 40 สามารถอธิบายได้ว่า ถ้าตั้งค่าอุณหภูมิห้องที่ 26 °C แต่ MRT จะมีค่า 32 °C ก็จะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกร้อนกว่า 26 °C การคำนวณหาค่า MRT สามารถคำนวณได้จาก อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิโกลบ และความเร็วลม โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + ((1.10 \times 10^8 V_a^{0.6}) / (\varepsilon \times D^{0.4}) \times (t_g - t_a))]^{1/4} - 273 \quad (2.4)$$

เมื่อ t_r คือ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยโดยรอบ (mean radiant temperature) (°C)

t_g คือ อุณหภูมิของ Globe Thermometer (°C) V_a = ความเร็วลม (m/s²)

t_a คือ อุณหภูมิอากาศ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Globe Thermometer (m)

ε คือ ค่าการดูดซับความร้อน (emissivity = 0.95 ในกรณี Globe Thermometer เป็นสีดำ)

2.4 ปัจจัยทางบุคคล (Personal factors)

ประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องบุคคลประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่

2.4.1 การเผาผลาญของร่างกาย (Metabolic Activities) คือ ปฏิบัติการในร่างกายที่ทำให้เกิดพลังงานแก่ร่างกาย เพื่อนำไปใช้ในการทำงานของเซลล์แต่ละเซลล์รวมไปจนถึงพลังงานในการเคลื่อนไหวร่างกาย, ย่อยสลายอาหาร, ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอหรือในร่างกายและเป็นกระบวนการที่ทำให้ร่างกายร้อนขึ้น ในร่างกายมนุษย์มีหน่วยเป็น (met-value) ซึ่งเกิดได้จาก 2 ทาง คือ [13]

2.4.2 การเผาผลาญอาหาร (metabolism) คือ ปฏิบัติการของร่างกายนอกเหนือการควบคุม อาหารที่เรารับประทานเข้าไปจะ ใช้พลังงานในการเผาผลาญที่แตกต่างกัน

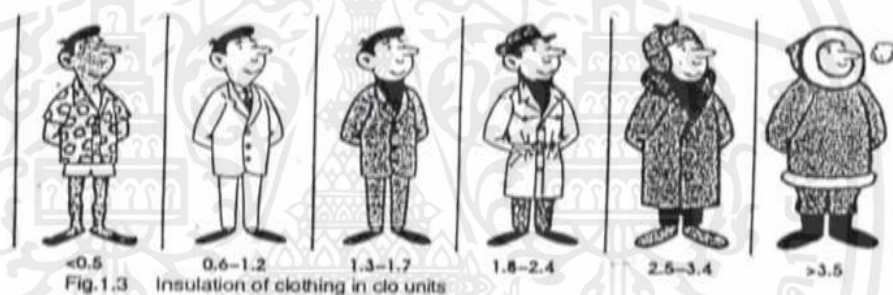
2.4.3 การเผาผลาญของกล้ามเนื้อ คือ เกิดขึ้นเมื่อเรากระทำกิจกรรมต่างๆ ดังนั้นกิจกรรมต่างๆก็จะมีผลทำให้ค่าของสภาวะสบายที่ต้องการแตกต่างกันด้วยโดยความร้อนที่ผลิตออกมามีหน่วยเป็น Metabolic หรือ 1 met มีค่าเท่ากับ 58.2 W/m^2

ตารางที่ 2.3 ระดับการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ [9]

กิจกรรม	W / m^2	met
กิจกรรมการพักผ่อนร่างกายการเผาผลาญพลังงานไม่เกิน (65 W/m^2)		
นั่ง	60	1.0
นอนหลับ	40	0.8
นอนเล่น	45	0.8
เอกเขนก	45	1.0
กิจกรรมที่เผาผลาญพลังงานต่ำ (66 – 130 W/m^2)		
นั่งอ่านหนังสือ	55	1.0
นั่งเขียนหนังสือ	60	1.0
ยืนผ่อนคลาย	70	0.2
เดิน		
3.2 km/h (0.9 m/s)	15	2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	220	3.8
6.4 km/h (1.8 m/s)	120	2.1

2.5 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing)

เสื้อผ้าที่สวมใส่ถือว่าเป็นฉนวนทางความร้อนอย่างหนึ่งหรือเรียกว่า ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ มีหน่วยเป็น (clo value) เนื่องจากเสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นส่วนกั้นระหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อมทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายกับสภาวะแวดล้อมต้องส่งความร้อนผ่านเสื้อผ้าด้วยการนำความร้อน กระบวนการนำความร้อนผ่านเสื้อผ้าประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การส่งผ่านความร้อนผ่านอากาศเข้าไปตามรูพรุนของเนื้อผ้าและการนำความร้อนผ่านเนื้อผ้า ความสามารถในการส่งผ่านร้อนของทั้งสองส่วนขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ความเร็วลม ความเปียกของเสื้อผ้าอัตราส่วนของรูพรุนและความสามารถในการส่งผ่านอากาศของเนื้อผ้า ซึ่งค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้านั้นจะอยู่ในหน่วยของ clo ซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.15 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่มีค่า $6.45 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเสื้อผ้าที่สวมใส่ [12]

สมการสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_c หาได้จาก

$$h_c = \begin{cases} \max \{ 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} \geq 12.1\sqrt{V} \\ 12.1\sqrt{V}, 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} \leq 12.1\sqrt{V} \end{cases} \quad (2.5)$$

เมื่อ t_{cl} คือ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยของเสื้อผ้า ($^{\circ}\text{C}$)

t_a คือ อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

V คือ ความเร็วลม (m/s)

โดยสามารถหาค่า t_{cl} ได้จากสมการต่อไปนี้

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - R_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-9} f_{cl} + 273 \right\}^4 - (t_r + 273)^4 + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (2.6)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของเสื้อผ้า (Clothing Factor, f_{cl}) นั้นหาค่าได้จากสมการ $f_{cl} = A_c / A_D$ อัตราส่วนพื้นที่เสื้อผ้ากับพื้นที่ของร่างกาย

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.29 I_{cl}, & \text{for } I_{cl} \geq 0.078 \frac{m^2}{kw} \\ 1.05 + 0.645 I_{cl}, & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 \frac{m^2}{kw} \end{cases} \quad (2.7)$$

ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า (R_{cl}) หาได้จาก

$$R_{cl} = 0.155 I_b \quad (2.8)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า *Clothing insulation*, (I_{cl})

$$I_{cl} = \sum_i I_{cl,i,\mu} \quad (2.9)$$

เมื่อ I_{cl} คือ ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (m^2K/W) เป็นความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนที่สมเหตุสมผลโดยชุดเสื้อผ้า ค่าจำกัดความของฉนวนกันความร้อนของเสื้อผ้าเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ [10]

ลักษณะเสื้อผ้า	I_{clo}	ลักษณะเสื้อผ้า	I_{clo}
เสื้อไม่มีแขน	0.12	ชุดเดรสและกระโปรง	0.14
เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.19	เสื้อแขนยาว (บาง)	0.23
เสื้อเชิ้ตแขนยาวผ้าสักหลาด	0.34	เสื้อแขนยาว (หนา)	0.33
เสื้อกีฬาแขนสั้น	0.17	เสื้อแขนสั้น (บาง)	0.47
กางเกงขายาว	0.06	เสื้อไม่มีแขน คอกกลมลึก (บาง)	0.29
เสื้อคลุม	0.34	เสื้อไม่มีแขน คอกกลมลึก (หนา)	0.27
กางเกงขาสั้น เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.36	เสื้อกั๊ก (หนา)	0.17
กางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.57	รองเท้าแตะ/สายหนัง	0.22
กางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตแขนยาว	0.61	รองเท้าแตะสวมในบ้าน	0.03
กางเกงกีฬาขายาว เสื้อกีฬาแขนยาว	0.74	ถุงเท้ายาว	0.06
เสื้อกั๊ก	0.10	ถุงเท้าสั้น	0.03
กางเกงขั้วใน	0.04	รองเท้าบูท	0.10
เสื้อยืดคอกกลม	0.08	เสื้อกั๊ก (บาง)	0.13
ชุดนอนแขนสั้น	0.42	เสื้อกั๊ก (หนา)	0.22
ชุดนอนแขนยาว	0.57	แขนยาว (บาง)	0.25
เสื้อคลุมห่อแขนยาว	0.69	แขนยาว (หนา)	0.36
เสื้อคลุมสั้น	0.34	กางเกงขายาวตรง(บาง)	0.24
		กางเกงขายาวตรง(หนา)	0.28
		กางเกงขายาว	0.30

2.6 มาตรฐานของความสบายทางความร้อน (Comfort standards)

การศึกษาเรื่องของภาวะความรู้สึกสบายของมนุษย์นั้นได้มีการศึกษากันมาอย่างยาวนานสำหรับการศึกษาในเรื่องนั้นได้แบ่งออกเป็นแนวทางใหญ่ๆ 2 เรื่อง คือ

2.6.1 การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ (ASHRAE standard 55)

เป็นแนวทางในการศึกษาต่อและทำการสร้างแผนภูมิความสบายขึ้นมาใช้บนไซโครเมตริกชาร์ต โดยประเมินค่าจากการทำนายปฏิกิริยาจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการทดลองในห้องทดลองที่มีการ

ควบคุมปัจจัยทางกายภาพต่างๆ เช่น ความเร็วอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นภายในห้องให้คงที่ และประเมินว่าปัจจัยต่างๆ นั้นมีผลต่อปฏิกิริยาความรู้สึกสบายของคนในห้องอย่างไร [13]

โดยการทดลองมีเงื่อนไข คือ กลุ่มคนทดลองอยู่ในท่านั่งสวมใส่เสื้อผ้าปกติ (ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า = 0.6 clo) ค่าความเร็วลมทดสอบไม่เกิน 0.15 m/s ทำกิจกรรมที่สม่ำเสมอโดยระดับการเผาผลาญพลังงานของคนในห้อง 1.5 met และคิดค่าการสูญเสียจากกระบวนการเผาผลาญพลังงานของร่างกายสูงสุด 2 met ภายในห้องทดลองที่มีการปรับอากาศ ซึ่งแผนภูมินี้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ต่อมาได้มีการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมซึ่งอ้างอิงตาม ASHRAE Standard 55 -2010 [28] พบว่าภาวะสบายอยู่ระหว่างอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 21 - 28 °C และอยู่ที่เส้นความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 10 - 80 % โดยขอบเขตแผนภูมินี้ได้ถูกนำมาใช้อ้างอิงสำหรับอากาศเป็นแผนภูมิมาตรฐานที่ใช้ทั่วโลก



รูปที่ 2.5 ช่วงขอบเขตที่รู้สึกสบาย ASHRAE Standard 55 -2010 [18]

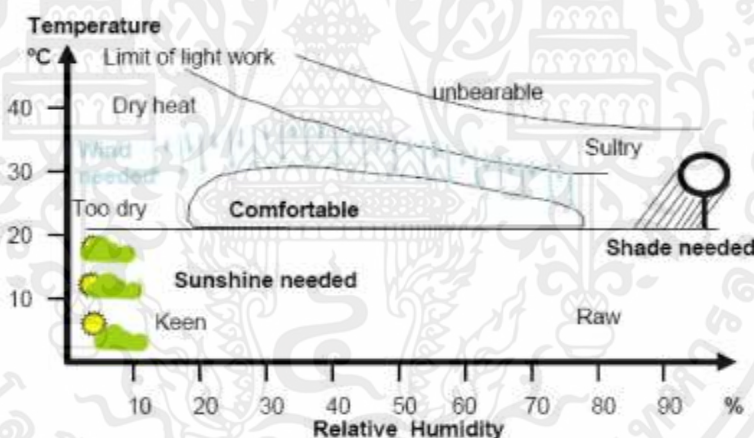
การทดลองของ Fanger ได้ทำการทดลองหาอุณหภูมิความรู้สึกสบายที่แท้จริงของมนุษย์โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 256 คน สวมเสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อน 0.63 clo เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อหาข้อเท็จจริงในเรื่องของอุณหภูมิในห้องเท่ากับอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ความเร็วอากาศในห้องทดสอบ m/s อุณหภูมิของอากาศมี 4 ระดับ 21.1 °C, 23.3 °C, 25.6 °C และ 27.8 °C ความชื้นสัมพัทธ์มี 2 ระดับ คือ 30% และ 70%

1) ขอบเขตสภาวะสบาย (Comfort Zone) คือ ขอบเขตของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนและความรู้สึกหนาวของมนุษย์ โดยหมายถึงสภาวะที่มีอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นในอากาศที่พอเหมาะจนมนุษย์ไม่รู้สึกว่าร้อนหรือหนาวเกินไป [15] จากการศึกษาของ Victor Olgyay สภาวะสบายจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สภาวะสบายภายในร่างกายและสภาวะสบายภายนอกในร่างกาย

2) สภาวะสบายภายในร่างกาย คือ สภาพร่างกายของคนในแต่ละพื้นที่ เช่น การขับเหงื่อของคนในเมืองร้อนจะมากกว่าคนในเมืองหนาว การทนต่ออุณหภูมิสูงของคนในเมืองร้อนจะทนได้มากกว่าคนในเมืองหนาว เป็นต้น ซึ่งสรุปได้ว่าสภาวะสบายในร่างกายของคนแต่ละพื้นที่ต่างกัน

3) สภาวะสบายภายนอกในร่างกาย คือ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสงแดด การแผ่รังสี ความเร็วลมและทิศทางลม รวมถึงวัสดุที่นำมาใช้ในสถาปัตยกรรม ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น ทำให้เกิดความพยายามที่จะกำหนดขอบเขตสภาวะสบายเพื่อช่วยให้ผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมหรือสถาปนิกเห็นถึงสภาพอากาศที่น่าจะเป็นสภาวะสบายในสภาพแวดล้อมนั้น

แผนภูมิสภาวะสบายได้แก่ bioclimatic chart [16] ซึ่งได้แสดงให้เห็นขอบเขตสภาวะสบายซึ่งจะอยู่ในช่วง $21 - 30^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $18 - 77\%$ ในสถานะการณ์ที่ไม่มีลมพัดใดๆ ไม่มีรังสีความร้อนใดๆ และระดับเมตาบอลิซึมเท่ากับ 1.2 met-value และค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าเท่ากับ 1.0 clo-value แต่เมื่อมีลมพัดผ่านจะสามารถเพิ่มขอบเขตสภาวะสบาย



รูปที่ 2.6 แสดง Bioclimatic chart แสดงตำแหน่ง comfort zone ที่ขึ้นกับ 6 ปัจจัย [10]

สบายในอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นได้ในมาตรฐานสากล (ISO 7730 1994) ได้แนะนำว่า สภาวะสบายในช่วงฤดูหนาวสภาพอากาศควรมีอุณหภูมิ $20 - 24^{\circ}\text{C}$ และช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิ $23 - 26^{\circ}\text{C}$ โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ $30 - 70\%$ ทั้งสองฤดู

2.7 การวัดค่าดัชนีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method)

การวัดค่าดัชนีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) Fanger [29] คือ ค่าดัชนีเชิงวิเคราะห์เป็นค่าที่ใช้ประเมินความรู้สึกต่อสภาพอากาศใสภาพแวดล้อมใด ๆ มีผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข โดยดูพื้นฐานของบุคคลที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายร่วมด้วยเช่น สภาพแวดล้อมของที่อยู่อาศัยและรูปร่างของผู้ใช้งานและนำตัวเลขเหล่านั้นมาประเมินหาค่าความรู้สึกผ่านแบบสอบถามซึ่งคำตอบจะเป็นแบบตัวเลือก ซึ่งนิยมใช้แบบ 7 ตัวเลือก และ 9 ตัวเลือกดังตารางที่ 2.4

2.7.1 (Predicted Mean Vote, PMV) คือ ค่าสมมติทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการเฉลี่ยค่าความรู้สึกต่อสภาพอากาศของค่า PMV เป็นค่าที่บอกถึงสภาวะอากาศในสภาพแวดล้อมและมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย ค่า PMV แบบ 7 ตัวเลือกมีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง +3 และค่า PMV แบบ 9 ตัวเลือกมีค่าอยู่ระหว่าง -4 ถึง +4 โดยมีความหมายตามค่าที่แสดงในตารางที่ 2.5 และและมีสูตรคำนวณดังนี้

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028] \cdot L \quad (2.10)$$

เมื่อ M คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

L คือ ความร้อนที่สูญเสียจากร่างกาย

โดยสามารถหาค่าความร้อนสูญเสียจากร่างกายคน (Heat loss, L) หาได้ดังสมการดังนี้

$$L = (M - W) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_r + 273.15)^4 - (t_a + 273.15)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) - 3.05 [5.73 - 0.007(M - W) - P_a] - 0.42 [(M - W) - 58.15] \quad (2.11)$$

เมื่อ L คือ ความร้อนของร่างกาย (W/m^2)

M คือ อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (W/m^2)

W คือ พลังงาน (W/m^2)

t_a คือ อุณหภูมิอากาศ

f_{cl} คือ ปัจจัยของเครื่องแต่งกาย

t_{cl} คือ อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเครื่องแต่งกาย

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน [$W/(m^2 \times ^\circ C)$]

P_a คือ ความดันไอน้ำในอากาศ

ตารางที่ 2.5 การวัดค่าดัชนีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) [21]

ค่า PMV	ความรู้สึกสบาย
+3	ร้อน
+2	อุ่น
+1	ค่อนข้างอุ่น
0	พอดี
-1	ค่อนข้างเย็น
-2	เย็น
-3	หนาว

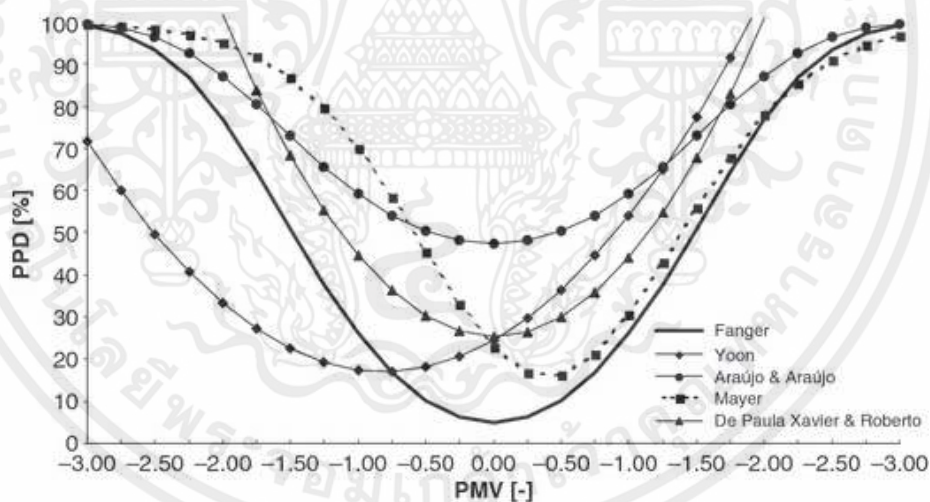
แสดงตัวเลือกความรู้สึกในสภาพอากาศแบบ 9 ตัวเลือก

ค่า PMV	ความรู้สึกสบาย
+4	ร้อนมาก
+3	ร้อน
+2	อุ่น
+1	ค่อนข้างอุ่น
0	พอดี
-1	ค่อนข้างเย็น
-2	เย็น
-3	หนาว
-4	หนาวมาก

2.7.2 (Prediction Percent Dissatisfied, PPD) คือ ค่าที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกไม่สบายหรือความไม่พอใจต่อสภาพอากาศ โดยจะแสดงผลเป็นร้อยละหรือค่าเฉลี่ย โดยจะมีการกำหนดขอบเขตสภาวะน่าสบายด้วยค่าดัชนีของ PMV และ PPD โดยจะไม่ได้ระบุอุณหภูมิที่แน่นอน เพราะว่าช่วงของความน่าสบายจะมีช่วงความน่าสบายเท่าไรก็ได้แต่ขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวอย่างที่รู้สึกไม่สบายในสภาพอากาศ โดยจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV และ PPD การทำนายเปอร์เซ็นต์ของคนที่มีแนวโน้มที่จะรู้สึก อบอุ่นหรือเย็นเกินไปในสภาพแวดล้อมที่กำหนดซึ่งค่า $PMV=0$ คือความรู้สึกสบายและค่า PPD ความจะมีค่าไม่เกิน 15 % และมีสมการดังนี้

$$PPD = 100 - 95 \exp(0.0335(PMV^4) - 0.2179(PMV^2)) \quad (2.12)$$

โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV และ PPD อธิบายโดยการทดลองของ Fanger ได้ทดลองกับชาวเดนมาร์ก 1,296 คน และ Nevins และ Rohles ทำการทดลองกับชาวอเมริกาใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV และ PPD ดังรูปที่ 2.2 [15]



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และ PPD [17]

2.8 การคำนวณ BTU ของเครื่องปรับอากาศให้พอดีกับขนาดห้อง

2.8.1 BTU (British Thermal Unit) คือ หน่วยที่ใช้วัดปริมาณความร้อนหน่วยหนึ่ง (ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบของเครื่องปรับอากาศ) สามารถเทียบได้กับหน่วยจูลหรือแคลอรีในระบบสากล โดยที่ความร้อน 1 BTU คือปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 lb มีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 °F แอร์นั้นจะวัดกำลังความเย็นหรือความสามารถในการดึงความร้อน (ถ่ายเทความร้อน) ออกจาก ห้องปรับอากาศในหน่วยบีทียู (BTU) หน่วยที่นิยมใช้สำหรับหาปริมาณความร้อน ของระบบเครื่อง ทำความเย็นนั้นคือ ตัน (TON) คำว่า “1 ตันความเย็น” นั้นหมายถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ใน การละลายน้ำแข็ง 1 ตัน (2,000 ปอนด์) ในเวลา 24 h หรือเท่ากับ 12,000 BTU/h เช่นแอร์ขนาด 9,000 BTU/h หมายความว่าแอร์เครื่องนั้นมีความสามารถในการดึงความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ 9,000 BTU/h

2.8.2 การเลือกใช้ BTU ให้เหมาะสม การเลือกขนาด BTU ของแอร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ของห้อง จะช่วยให้แอร์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน [11]

- ถ้าเลือก BTU สูงไป คอมเพรสเซอร์จะทำงานตัดบ่อยเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงาน ลดน้อยลงและทำให้ความชื้นในห้องสูงไม่สบายตัวและที่สำคัญราคาแพงและสิ้นเปลืองพลังงาน

- ถ้าเลือก BTU ต่ำไป คอมเพรสเซอร์จะทำงานตลอดเวลา เพราะความเย็นห้องไม่ได้ตาม อุณหภูมิที่ตั้งไว้ อาจจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าเลือกบีทียูที่พอดีกับห้องและทำให้อายุการใช้งานของ เครื่องสั้นลง มีโอกาสเสียเร็วมากขึ้น โดยการคำนวณ BTU สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$BTU = [\text{กว้าง(เมตร)} \times \text{ยาว(เมตร)}] \times \text{ตัวแปร} \quad (2.13)$$

ตัวแปร - 750 สำหรับห้องนอนปกติไม่โดดแดด

- 800 สำหรับห้องนอนปกติ × โดดแดด

- 850 สำหรับห้องทำงาน × ไม่โดดแดด

- 900 สำหรับห้องทำงาน × โดดแดด

2.8.3 คำนวณหาความสามารถในการความเย็นรวมที่ภาระเต็มพิกัดของเครื่องปรับอากาศ (TON, TR) จากสมการ

$$TR = (5.707 \times 10^{-3})(CMM)(H_r - H_s) \quad (2.14)$$

เมื่อ $(CMM) = \text{volume flow rate}(m^3 / \text{min})$

H_r คือ เอนทาลปีของลมกลับ

H_s คือ เอนทาลปีของลมจ่าย

H_r, H_s คือ สามารถหาได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก

2.9 ทฤษฎีโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS)

จากการจำลองสภาวะความเสถียรภายในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศเราจำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS ในการออกแบบและเขียนแบบสำหรับงานด้านวิศวกรรม เช่น ห้องเสมือนจริง อุปกรณ์ไฟฟ้า วัสดุต่างๆ เครื่องปรับอากาศ และสร้างโมเดลหุ่นตัวอย่าง เป็นต้น SOLIDWORKS เพื่อทดสอบว่าผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้รับความเสถียรหรือไม่เราจำเป็นในการทดสอบแบบจำลองนี้ เราได้อาศัยเทคนิคทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ หรือ CFD ย่อมาจาก (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ช่วยในการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (finite volume method) ในการทำการวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลได้ในระยะเวลาอันสั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SOLIDWORKS Flow Simulation) เพื่อวิเคราะห์อากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น SOLIDWORKS ได้นำเสนอฟังก์ชันทางการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ พร้อมด้วยโปรแกรมที่ใช้งานง่ายเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในกระบวนการออกแบบและทำให้คุณสร้างสรรค์งานได้ดียิ่งขึ้น[4]

2.9.1 ทฤษฎีของโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation และ SOLIDWORKS Flow Simulation with HVAC Module คือ โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS Flow Simulation, 2020) เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการจำลองของไหล, การถ่ายโอนความร้อนและกำลังของของไหลซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการออกแบบตัวโปรแกรมโซลิดเวิร์ค SOLIWORKS จะมีการจำลองการคำนวณพลศาสตร์

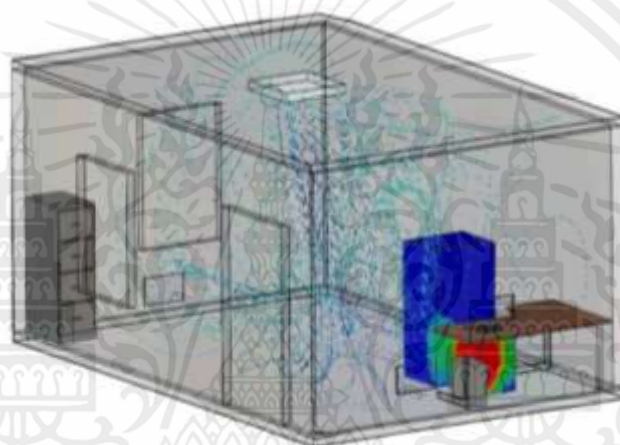
(Computational Fluid Dynamics, CFD) ที่มีความซับซ้อนสูงและช่วยให้ Product Engineers ใช้ CFD เป็นแนวทางในการตัดสินใจเชิงเทคนิคได้อย่างถูกต้อง วิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ หรือ CFD ย่อมาจาก (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ช่วยในการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (finite volume method) ในการทำการวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลได้ในระยะเวลาอันสั้นเพียงไม่กี่ชั่วโมงและใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SOLIDWORKS Flow Simulation with HVAC Module) ในการประเมินการไหลของแก๊สและอุณหภูมิในการทำงานในสภาวะแวดล้อมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการออกแบบโดยใช้ HVAC applications module ด้วย add-in to Flow Simulation ได้รวมความสามารถในการจำลองเอาไว้โดยความสามารถเพิ่มเติมนั้นมี วิเคราะห์พารามิเตอร์ในสภาวะสบายของระบบปรับอากาศ, วิเคราะห์การแผ่รังสี, วิเคราะห์ฝุ่นควันในอากาศ, ฐานข้อมูลวิศวกรรมใน HVAC [5]



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์การไหลของอากาศภายในห้อง [6]

โมดูลการออกแบบ HVAC สำหรับ SolidWorks Flow Simulation ประเมินการเคลื่อนที่ของอากาศและก๊าซในสภาพแวดล้อมการทำงานและการใช้ชีวิต โมดูลประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองรังสีขั้นสูงพารามิเตอร์ความสะดวกสบายและฐานข้อมูลขนาดใหญ่ของวัสดุ การเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของอากาศและการจัดการการไหลเวียนของอากาศภายในสภาพแวดล้อมขนาดใหญ่เป็นกุญแจสำคัญในการสร้างความมั่นใจว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะรักษาไว้สำหรับคนจำนวนมากที่สุด

การออกแบบการระบายความร้อนของผลิตภัณฑ์ – โมดูล HVAC ไม่เพียงพอแต่จำลองการไหลเวียนของอากาศในสภาพแวดล้อม แต่ยังสามารถวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในสภาพแวดล้อม ด้วยชุดเครื่องมือที่ปรับปรุงแล้วนักออกแบบสามารถวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาจากพฤติกรรมในโลกแห่งความเป็นจริง ปัจจัยความสะดวกสบายของมนุษย์ – ประสิทธิภาพของการควบคุมสิ่งแวดล้อมวัดจากปัจจัยความสะดวกสบายของมนุษย์ พารามิเตอร์ทั้งหมดนี้จะประเมินทั้งปฏิกิริยาของคนต่อสิ่งแวดล้อมและแง่มุมของสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.9 ปัจจัยด้านความสะดวกสบายของมนุษย์ด้วย HVAC [6]

โมดูล HVAC ช่วยให้นักออกแบบและวิศวกรสามารถกำหนดรูปแบบการปรับอากาศที่ซับซ้อนและระบบระบายความร้อนสำหรับการวิเคราะห์ความร้อนได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำด้วยการผสมผสานที่ใช้งานง่ายและเครื่องมือเฉพาะทางอุตสาหกรรมโมดูล HVAC ช่วยให้มั่นใจถึงประสิทธิภาพการวิเคราะห์สูงสุดพร้อมความแม่นยำในการจำลองที่เพิ่มขึ้น [6]

2.9.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD)

เป็นการใช้คอมพิวเตอร์และเทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical Techniques) ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหล (Fluid) และใช้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธี CFD วิเคราะห์ปัญหาของของไหลทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมการไหลของของไหลได้เป็นอย่างดี โดยเทคนิคเชิงตัวเลขที่ถูกนำมาใช้ใน (Computational Fluid Dynamics, CFD) ประกอบด้วย วิธีการสร้างเมช (Mesh Generation) วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

1) การสร้างเมท (Mesh Generation) คือ กริดมีความละเอียดมากข้อดีคือ คำตอบที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำสูง ข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการประมวลผลนาน และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสูงในทางตรงข้ามกริดที่มีความละเอียดน้อยหรือกริดแบบหยาบ ข้อดี คือ ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสูงมาก ข้อเสียคือ คำตอบที่ได้ อาจไม่มีความถูกต้องเพียงพอ ดังนั้นในการเลือกใช้จำนวนกริดที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากต้องพิจารณาทั้งเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และความถูกต้องแม่นยำของคำตอบควบคู่กัน โดยผลลัพธ์ที่ได้ต้องเข้าใกล้คำตอบจริงมากที่สุดหรืออยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับได้และเมทที่เลือกใช้จะเป็นเมทรูปทรงเหลี่ยมหกหน้า ผลกระทบจากรูปร่างของเมทในบริเวณที่เกิดการกระจุกกระจายไม่เป็นระเบียบ โดยรูปทรงของแต่ละเซลล์จะมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ และส่งผลต่อเสถียรภาพของขบวนการแก้ปัญหา การจัดวางเมทจึงขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหล ยกตัวอย่างบริเวณทางเข้าควรกำหนดให้เมทมีความเป็นระเบียบสอดคล้องกับความเป็นจริงของสนามการไหลเข้าเพื่อลดผลกระทบของความผิดพลาดในขอบเขตของการไหลบริเวณนั้น ดังนั้นการจัดวางเมทที่มีความเป็นระเบียบและเหมาะสมในบริเวณช่องทางไหลจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากโดยเมทแต่ละเมทจะต้องอาศัยเอลิเมนต์เป็นองค์ประกอบหลัก [4]



รูปที่ 2.10 ทรงเหลี่ยมหกหน้า (Hexahedral) [13]

2) ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Software) ในการวิเคราะห์โดยปกติทั่วไปจะประกอบด้วย 3 หลักการที่สามารถจัดเรียงลำดับขั้นตอนได้ดังนี้ชนิดของเอลิเมนต์จากคลังเก็บ หรือห้องสมุด (Library) [2]

ขั้นตอนการเตรียมกระบวนการ (Pre Processing) คือ ทั่วไปใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองของส่วนที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งรูปทรงเรขาคณิตออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ เรียกว่า เอลิ

เมนต์ โดยที่เอลิเมนต์แต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดโหนด แนนอนที่สุดโหนดนี้จะถูกกำหนดการเคลื่อนที่ และนอกเหนือจากนี้จะต้องทำการกำหนดแรง หรือ ภาระที่มากระทำกับชิ้นงานที่ต้องวิเคราะห์ ในขั้นตอนเตรียมการการเตรียมแบบจำลองนี้จะต้องใช้เวลาในการเตรียมเป็นจำนวนมาก และนอกจากนี้ ขั้นตอนเตรียมการบางกระบวนการสามารถรวมกับขั้นตอนออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบได้[10]

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis) คือ ข้อมูลต่างๆ เช่นแบบจำลองเอลิเมนต์เงื่อนไขต่างๆ ที่ได้ถูกเตรียมการจากขั้นตอนการเตรียมกระบวนการจะถูกนำมาใช้ป้อนเข้าสู่ระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์ตามหลักการของระเบียบการเองที่สร้างและแก้ไขปัญหาแบบเชิงเส้น (Linear) หรือ ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ด้วยสมการทางพีชคณิต โดยไฟไนต์เอลิเมนต์มีสมการรูปทั่วไป ดังแสดงในสมการ รูปที่ 2.1 สมการเมทริกซ์ [3]

$$\{k\}\{d\} = \{f\} \quad (2.15)$$

k คือ เมทริกซ์ความแข็งแกร่ง (Stiffness Matrix)

f คือ ค่าแรงที่มากระทำต่อเอลิเมนต์

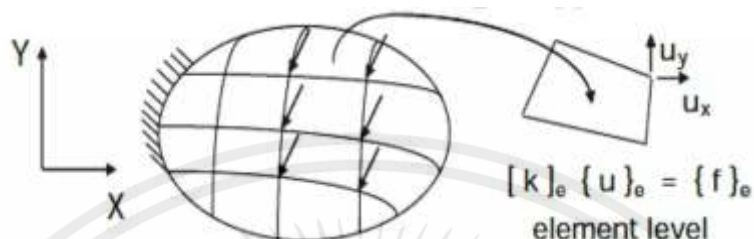
d คือ ความเคลื่อนที่อิสระของโหนดเอลิเมนต์ (DOF)

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \cdots & k_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

รูปที่ 2.11 สมการรูปทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์แบบเมทริกซ์ (Matrix) [11]

เมื่อมีการแทนที่ d และ f อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้แรงภายนอกที่จุดสำคัญจากการสร้างสมการเมทริกซ์ K ขึ้นอยู่กับชนิดของปัญหาที่ถูกกระทำและเกณฑ์ของการวัดหน่วยที่นำมาประกอบเป็นโครง ผูกมัดนี้ทำให้เข้าใจประเด็นจุดหมายของโครงร่างการวิเคราะห์ความเค้นที่ยืดหยุ่นแบบเชิงเส้น (Linear Elastic Stress Analyses) บางครั้งในรหัสการประมวลเอลิเมนต์ก็มีมากซึ่งเอลิเมนต์ที่มีความ

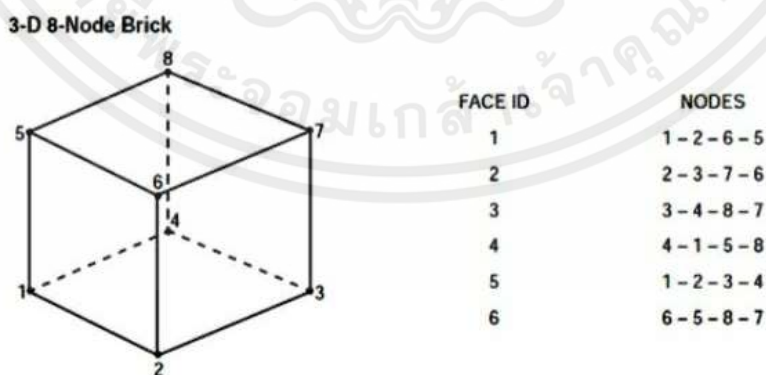
หลากหลายจะมีความเหมาะสมกับรูปแบบปัญหาแต่ละชนิด หลักเกณฑ์ที่เป็นข้อดีของหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ ปัญหาหลากหลายประเภทสามารถใช้รหัสการประมวลผลได้ด้วยรหัสเดียวกันแค่การระบุชนิดของเอลิเมนต์จากคลังเก็บ หรือ ห้องสมุด (Library) [2]



รูปที่ 2.12 แรงที่กระทำต่อเอลิเมนต์ (f) ที่ทำให้โหนดมีการเคลื่อนที่ (u) [2]

ขั้นตอนการนำเสนอกระบวนการ (Post Processing) คือ ก่อนหน้าการวิเคราะห์ แถวของตัวเลขที่ถูกสร้างขึ้นโดยรหัส (Code) การลงรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเค้นลงบนแบบจำลองให้มีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ด้วยวิธีนี้ทำให้พบข้อผิดพลาดได้ง่ายและจุดอันตรายอีกทั้งรหัสที่ทันสมัยจะใช้ภาพกราฟฟิสิกส์แสดงเพื่อให้ง่ายต่อการเห็นผลลัพธ์ ซึ่งรูปแบบของการนำเสนอทางกราฟฟิสิกส์จะแสดงเป็นระดับชั้นสีของความเค้นจนเต็มบนแบบจำลอง

3) โหนด (Node) โหนดเป็นตัวช่วยเชื่อมต่อโครงสร้างชิ้นเล็กๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) แต่ละเอลิเมนต์ให้ติดกันด้วยจุดของโหนดนอกจากนี้โหนดยังช่วยในการกำหนดรูปร่างของเอลิเมนต์ที่มีองศาอิสระโดยปกติแล้วโหนดจะอยู่ที่มุมของเอลิเมนต์ หรือจุดของเอลิเมนต์ แล้วกลุ่มของเอลิเมนต์และโหนดจะอยู่ติดกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่า แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) จะเป็นตัวแทนของชิ้นงานเพื่อนำไปจำลองเป็นสมการเมทริก (Matrix) เพื่อนำไปคำนวณต่อไป



รูปที่ 2.13 โหนดในเอลิเมนต์ 3 มิติ [2]

2.9.3 สมการพื้นฐานของการไหลแบบปั่นป่วนสำหรับสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation ประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง(Continuity Equation) และสมการนาเวียร์ - สโตกส์ (Navier - Stokes Equation) ที่ให้ค่าเปลี่ยนไปแบบชั่วขณะการจำลองแบบกระจายอุณหภูมิกภายในห้องสามารถคำนวณได้จากสมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัมและการอนุรักษ์พลังงาน โดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น สมการใช้จะอยู่บนพื้นฐานของการไหลแบบปั่นป่วน โดยจะใช้แบบจำลอง $k - \epsilon$ โดยจะสามารถอธิบายได้และสามารถเขียนสมการทั้งสองให้อยู่ในรูปของเทนเซอร์ (Tensor) ได้ดังนี้ [13]

1 สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equation)

3 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy equation)

1) สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

จากกฎอนุรักษ์มวล (mass conservation) ได้ทำการพิจารณามวลการไหลในระบบจากวิธีแบบลากรางจ์ (Lagrangian approach) พบว่ามวลในระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไปตามเวลามวลจะอยู่ในสถานะคงที่ตลอด ซึ่งเป็นหลักการของกฎอนุรักษ์มวลหรือสมการต่อเนื่องแต่อย่างไรก็ตามมวลที่เขียนอยู่ในรูปกฎอนุรักษ์มวลหรือที่เขียนอยู่ในรูปอนุพันธ์ สามารถอธิบายได้อยู่ในรูปของออยเลอร์ โดยใช้ปริมาตรควบคุมแล้วใช้วิธีหัดปริมาตรควบคุมให้เล็กลงจนเป็นจุดโดยพิจารณา

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

เมื่อ p คือ ความหนาแน่นของการไหล

u_j คือ ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x, y และ z

สมการนาเวียร์-สโตกส์

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \rho(u_i u_j) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2.17)$$

ให้ความเร็วและปริมาณต่างๆซึ่งค่าที่เปลี่ยนไปแบบชั่วขณะ (Instantaneous) มีค่าเท่ากับผลรวมของค่าเฉลี่ย (Mean) ซึ่งไม่ขึ้นกับเวลากับส่วนแสดงการกระเพื่อม (Fluctuations)

$$u_i = \bar{u}_i + u_i \quad (2.18)$$

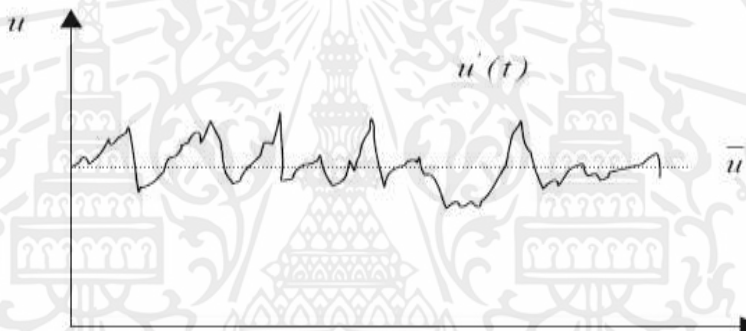
โดยที่ \bar{u}_i และ u'_i คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งและส่วนของการกระเพื่อมของส่วนประกอบความเร็ว ($i = 1,2,3$) ซึ่งค่าของ \bar{u}_i ได้มาจาก

$$\bar{u}_i = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} (\bar{u}_i + u'_i) dt \quad (2.19)$$

โดยที่ ∇t เป็นขนาดของช่วงเวลาซึ่งมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับการกระเพื่อมของความปั่นป่วนดังนั้น

$$= \bar{u}_i + \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u'_i dt = \bar{u}_i + \bar{u}'_i \quad (2.20)$$

เนื่องจาก $\bar{u}'_i = 0$ ดังนั้น



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของความเร็วที่ขึ้นกับเวลา [19]

จะเห็นได้ว่าส่วนของเทอมเฉลี่ยช่วงระยะเวลาหนึ่งของการกระเพื่อมของความปั่นป่วนมีค่าเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามค่า \bar{u}'_i, \bar{u}_j ไม่จำเป็นต้องมีค่าเป็นศูนย์ไปด้วย เช่นเดียวกับปริมาณอื่นๆ สามารถเขียนได้ให้รูปแบบเดียวกัน

$$p = \bar{p} + p' \quad (2.21)$$

จากสมการนาเวียร์-โตกส์ ที่ให้ค่าเปลี่ยนไปแบบชั่วขณะแทนค่าปริมาณต่างๆ ด้วยผลรวมของปริมาณเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งกับส่วนของการกระเพื่อมเนื่องจากความปั่นป่วนแล้วทำการเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาหนึ่ง สมการที่ได้สามารถเขียนให้อยู่ในแกนคาร์ทีเซียน (Cartesian Axis) ได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (2.22)$$

2) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการโมเมนตัมถูกดัดแปลงมาจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's Second Law) ซึ่งสมการโมเมนตัมในส่วนของการกระทำประกอบด้วยแรงที่กระทำต่อพื้นผิว เช่น แรงที่เกิดจากความดันและความเค้นเฉือนเนื่องจากความหนืดของของไหล และแรงที่กระทำทั่วทั้งก้อนของของไหล เช่น แรงโน้มถ่วง แรงทางไฟฟ้า ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง

$$F = ma \quad (2.23)$$

สมการโมเมนตัมของแบบจำลอง $k - \varepsilon$

แกน X :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} (t_{ji} - \overline{\rho u_j u_i}) - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g_j B(T - T_r) \delta_{ij} + S_i \quad (2.24a)$$

แกน Y :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - P_k + G_k - \rho \varepsilon - \rho D + S_k \quad (2.24b)$$

แกน Z :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \varepsilon) = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} + f_{\varepsilon 1} (P_k + C_{\varepsilon 3} + G_k) \frac{\varepsilon}{k} \\ & - \rho C_{\varepsilon 2} f_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \rho E + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2.24c)$$

เทอม $-\overline{\rho u_j u_i}$ ในสมการ (2.30) เรียกว่า Reynolds Stress Tensor ซึ่งสามารถนิยามตามได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} (t_{ji} - \overline{\rho u_j u_i}) - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g_j \beta (T - T_r) S_{ij} \quad (2.25)$$

เมื่อ t_{ji} คือ เทนเซอร์ความเค้นจากความหนืด

$\overline{\rho u_j u_i}$ คือ เทนเซอร์ความเค้นของเรย์โนลด์

p คือ ความดัน

g_j คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงในแนวแกน x, y และ z

- β คือ สัมประสิทธิ์การขยายปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ
 T คือ อุณหภูมิ
 T_t คือ อุณหภูมิอ้างอิง
 S_{ij} คือ คราอนเนคเกอร์เตลต้า

3) สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

เมื่อเรานำกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ใช้กับอีลิเมนต์ของไหลที่มีการเคลื่อนที่ เราจะเขียนสมการได้เป็น อัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดภายในของอีลิเมนต์ของไหลเท่ากับ เส้นของความร้อนทั้งหมดที่ไหลเข้าสู่อีลิเมนต์บวกด้วยอัตราของงานบนอีลิเมนต์ที่เกิดจากตัวอีลิเมนต์ และแรงที่ผิว

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (p u_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\bar{k}}{C_p} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial h}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\bar{k}}{C_p} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) T \frac{\partial C_p}{\partial x_j} \right] \right] \quad (2.26)$$

เมื่อ u_j คือ ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x, y และ z

μ_t คือ ความหนืดไหลวนปั่นป่วน

h คือ เอนทาลปี

\bar{k} คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

σ_T คือ แปรต์ทอลนัมเบอร์ของความปั่นป่วน

แบบจำลองการปั่นป่วนประเภทสองสมการสำหรับแบบจำลองการปั่นป่วนประเภทสองมีดังนี้

$$\mu_t = \rho C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.28)$$

เมื่อ C_μ กับ f_μ คือค่าคงที่และฟังก์ชันการหน่วงของ μ_t ตามลำดับ และ ε คืออัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน (Dissipation rate of k)

สมการพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + G_k - p\varepsilon - pD \quad (2.29)$$

เมื่อ	σ_k	คือ ค่าคงที่
	D	คือ พจน์เสริมของสมการพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน
	p	คือ ความดัน
	μ	คือ ความหนืดพลศาสตร์
	μ_t	คือ ความหนืดพลศาสตร์
	σ_k	คือ แปรนดท์ทอลนัมเบอร์ของความปั่นป่วน
	P_k	คือ การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากความเค้น
	G_k	คือ การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากแรงลอยตัว
	ε	คือ อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน (Dissipation rate of k)

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนและอัดตัวได้นั้น ε ถูกเสนอให้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ε (Solenoidal dissipation rate of k) ซึ่งเป็นส่วนของการไหลแบบไม่อัดตัว และ ε (Dilatation dissipation rate of k) ซึ่งเป็นส่วนของการไหลแบบอัดตัวได้

สมการสูญเสียพลังงานจลน์

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} f_{\varepsilon 1} (P_k + C_3 G_k) \frac{\varepsilon}{k} - p C_{\varepsilon 2} f_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + pE \quad (2.30)$$

เมื่อ	ρ	คือ ความหนาแน่น
	μ_t	คือ ความหนืดไหลวนปั่นป่วน
	ε	คือ อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน (Dissipation rate of k)
	μ	คือ ความหนืดพลศาสตร์
	k	คือ พลังงานจลน์ปั่นป่วน
	$C_{\varepsilon n}$	คือ ค่าคงที่

f_{el}	คือ ฟังก์ชันการหน่วงของแบบจำลองความปั่นป่วน
P_k	คือ การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากความเค้น
G_k	คือ การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากแรงลอยตัว
$\frac{\epsilon}{k}$	คือ อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ปั่นป่วนส่วนด้วยพลังงานปั่นป่วน

สมการที่กล่าวมาทั้งหมดเรียกทั้งระบบนี้ว่าสมการนาเวียร์ – สโตส์ (Navier-Stokes Equations) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของของไหล และสมการนี้สามารถอธิบายการจำลองสภาพอากาศของการไหลของของไหลได้ โดยมีวิธีสมการแก้ไขสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งสมการนี้จะสามารถบอก ความเร็ว u อัตราเร็ว v ความดัน p และอุณหภูมิ T แต่ต้องสอดคล้อง (Satisfy) กับทั้งระบบสมการนาเวียร์ – สโตส์ (Navier-Stokes Equations) จะไม่อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น และวิธีการแก้ไขปัญหาของของไหลพลศาสตร์การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือที่เค้าเรียกกันว่าซอฟต์แวร์ CFD ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงถึงลักษณะการไหลเป็นภาพเสมือนจริงทำให้มองเห็นภาพการไหลได้ง่ายขึ้น และทำให้เข้าใจในปัญหาสามารถนำมาแก้ไขปัญหาในสถานะการจริงได้

2.10 การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent Flow)

สำหรับการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์นั้นสามารถหาได้จากความสัมพันธ์กับขนาดของตัวแปรที่เรียกว่า เรย์โนลด์สเบอร์ (Reynolds number) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{\nu} \quad (2.31)$$

เมื่อ u_∞ คือ ความเร็วอิสระ
 x คือ ระยะจากจุดเริ่มต้น
 ν คือ ความหนืดของของเหลว

การไหลในระยะเริ่มต้นนั้นจะเป็นการไหลแบบลามินาร์ (Laminar flow) และเมื่อไหลไประยะหนึ่งก็จะเปลี่ยนเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent flow) จุดที่มีการไหลเปลี่ยนจากไหลแบบลามินาร์เป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์นั้นเราเรียกว่าจุดวิกฤต เรียกระยะที่มีการไหลเปลี่ยนจากไหลแบบลามินาร์เป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์นั้นเราเรียกว่าจุดวิกฤต และค่าเรย์โนลด์สเบอร์เป็นค่าวิกฤต มีค่าเท่ากับ

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{\nu} \cong 5 \times 10^5 \quad (2.32)$$

2.10.1 แบบจำลองปั่นป่วน สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ที่นำมาใช้จำลองปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ คือ แบบจำลอง Standard ($k - \epsilon$) ในการหาค่าเรย์โนลด์สเตรด ($-\rho \overline{u'_i u'_j}$) ใช้สมมติฐานของบาวด์ซิเนส และแบบจำลองทางเรย์โนลด์สเตรดซึ่งจะจัดอยู่ในรูปของสมการดังต่อไปนี้

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \left[\mu \left(\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2.33)$$

2.10.2 แบบจำลอง Standard $k - \varepsilon$ ซึ่งประกอบไปด้วย พลังงานจลน์ของการปั่นป่วน (k) และ อัตราการกระจาย (ε) สมการการส่งผ่านสำหรับแบบจำลอง Standard $k - \varepsilon$ พลังงานจลน์ของการปั่นป่วน (k) และอัตราการกระจาย (ε) จะรวมอยู่ในสมการการส่งผ่านดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(pku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.34)$$

และ

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \\ & + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2.35)$$

ในสมการเหล่านี้ G_k แทนการแยกออกของพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน ซึ่งเกิดจากความเร็วเฉลี่ยซึ่งหาได้จากสมการ

$$G_k = -\overline{\rho u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (2.36)$$

สำหรับสมมติฐานของบาวด์ซิเนส

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (2.37)$$

เมื่อ S เป็นโมดูลัสของอัตราความเครียดดิ่งเฉลี่ย

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (2.38)$$

G_b การสลายของพลังงานจลน์ของการปั่นป่วนซึ่งเกิดจากการลอยตัว

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (2.39)$$

โดยที่ Pr_t เป็น Prandtl Number การปั่นป่วนของพลังงานและ g_i เป็นส่วนประกอบของ Gravitational Vector ในลำดับที่ i สำหรับ RNG Model ให้ Pr_t เท่ากับ $\frac{1}{\alpha}$ และ α หาได้จากสมการ

$$\left| \frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\alpha - 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \quad (2.40)$$

โดยที่ $\alpha_0 = 1.0$ อยู่ในช่วงที่เข้าใกล้เรย์โนลด์นัมเบอร์สูง ($\mu_{mol} / \mu_{eff} \ll 1$), $\alpha_k = \alpha_\varepsilon \approx 1.393$ Y_m แทนการชดเชยของการแกว่งที่กว้างในการอัดแบบปั่นป่วนถึงอัตราการแพร่ทั้งหมด ซึ่งจะได้จากสมการ

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (2.41)$$

เมื่อ M_t Mach Number หาได้จาก

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \quad (2.42)$$

เมื่อ $a (\equiv \sqrt{\gamma RT})$ เป็นความเร็วของเสียง $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ เป็นช่วงที่ σ_k และ σ_ε เป็น Prandtl Number แทนเทอมของพลังงานค่าความหนืดเทอร์บิวเลนซ์ M_t เป็นการคำนวณโดยการรวมระหว่าง k และ ε ได้ดังนี้

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.43)$$

เมื่อ C_μ คือค่าคงที่และค่าคงที่ของแบบจำลอง $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_\mu, \sigma_k$ และ σ_ε มีค่าดังต่อไปนี้
 $C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$

ตารางที่ 2.6 สมการการไหลแบบปั่นป่วนของแบบจำลอง $k - \varepsilon$ ให้อยู่ในรูปแบบของเทนเซอร์ [20]

Transport equation	Differential Form
Continuity	$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0$
Momentum	$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_j u'_i} \right] - \rho g_i \beta (\bar{T} - \bar{T}_{ref})$
Energy equation	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\bar{k}}{C_p} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial h}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\bar{k}}{C_p} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) T \frac{\partial C_p}{\partial x_j} \right] \right]$
Turbulent kinetic energy	$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P + G - \rho \varepsilon$
Turbulent Dissipation rate (ε)	$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \frac{k}{\varepsilon} (P + C_3 G) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$
Bossiness approximation	$\overline{\rho u'_i u'_j} = -\frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} + u_i \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$

2.11 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method)

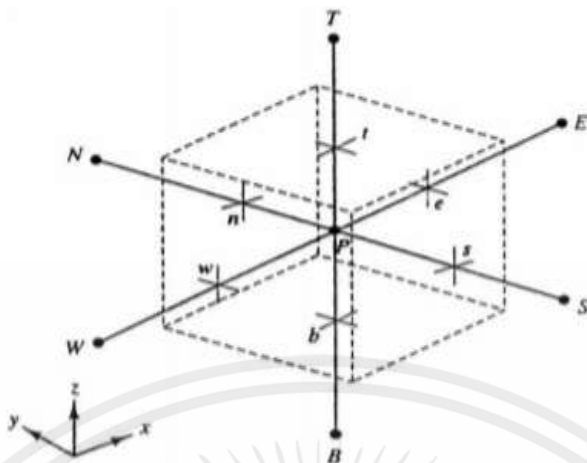
ในการหาผลเฉลยของสมการควบคุม (Governing equation) ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย โดยใช้หลักวิธีพื้นฐานของปริมาตรควบคุม ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยแบ่งขอบเขตการคำนวณออกเป็นปริมาตรควบคุมย่อย ๆ ทำการอินทิเกรตสมการควบคุมในแต่ละปริมาตรควบคุมพร้อมทั้งจัดให้อยู่ในรูปของสมการพีชคณิต และทำการดิสcretize สมการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปอยู่ในรูปอินทิกรัล และทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปริมาตรต่างๆ ปริมาตรควบคุมย่อยหนึ่งๆ กับปริมาณต่าง ๆ ในปริมาตรควบคุมย่อยให้อยู่ในสมการเชิงเส้น จากนั้นจึงทำการแก้สมการเพื่อหาผลเฉลยต่อไป ซึ่งระเบียบวิธีดังกล่าวเรียกว่า วิธีการคำนวณปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method)

รูปทั่วไปของสมการการส่งถ่ายปริมาณสเกลลาร์ (ϕ) ในปริมาตรควบคุมใด ๆ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอินทิกรัลได้ดังนี้

$$\int_A \rho \vec{u} \cdot n dA = \int_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot \vec{n} da + \int_A S_\phi dV \quad (2.67)$$

เมื่อ	ρ	คือ ความหนาแน่น
	\vec{u}	คือ เวกเตอร์ความเร็ว
	A	คือ พื้นที่ผิวของปริมาตร
	Γ_ϕ	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่
	ϕ, ∇_ϕ	คือ ค่าความชัน ϕ
	S_ϕ	คือ ตำแหน่งกำเนิด (Source) ของ ϕ ต่อปริมาตร

สมการที่ (2.67) มีความหมายดังนี้ เทอมแรกทางด้านซ้ายของสมการเป็นเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลา โดยเทอมแรกทางด้านซ้ายของสมการเป็นเทอมการแพร่ การหาค่าอินทิเกรตสมการข้างต้นเป็นขั้นตอนต่อไปของการคำนวณแบบปริมาตรสืบเนื่องในการวิเคราะห์การไหลแบบ 3 มิติจะกำหนดให้ค่า ϕ มีค่าเป็น u, v, w แล้วพิจารณาปริมาตรควบคุมใดๆ ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ปริมาตรควบคุม 3 มิติ [18]

รูปที่ 2.15 จุด P เป็นจุดที่แทนปริมาตรจะอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของปริมาตรพื้นผิวแต่ละด้านของปริมาตรเขียนแทนด้วย e, w, n, s, t และ b ซึ่งหมายถึงพื้นที่ผิวด้านทิศตะวันออกทิศตะวันตก ทิศเหนือ ทิศใต้ ด้านบน และด้านของจุด P ตามลำดับ

2.11.1 การดิสครีไทเซชัน (Discretization)

สมการอนุรักษ์ย่อยไม่เชิงเส้นที่ใช้อธิบายการไหลของของไหลนั้น เมื่อทำการดิสครีไทเซชันในเทอมจะได้ดังนี้

1) เทอมการพา (Convection term) ทำการดิสครีไทเซชันเทอมการพาจะได้ดังนี้

$$\int_A (\rho\phi u) \cdot \vec{n} dA = [(\rho\phi Au)_e - (\rho\phi Au)_w] + [(\rho\phi Av)_n - (\rho\phi Av)_s] + [(\rho\phi Aw)_t - (\rho\phi Aw)_b] \quad (2.68)$$

สามารถเขียนสมการของการพาที่ทำการดิสครีไทเซชันแล้วให้ง่ายขึ้นโดยการแทนด้วย $F = \rho u A$ โดยที่ค่า F คือ ฟลักซ์ของการพา (Convective flux) เขียนสมการ (2.68) ใหม่ได้ดังนี้

$$\int_A (\rho\phi u) \cdot \vec{n} dA = [(F\phi)_e - (F\phi)_w - (F\phi)_s] + [(F\phi)_t - (F\phi)_b] \quad (2.69)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เทอมการแพร่ (Diffusion term) ทำการดิสcretize เทอมการแพร่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \left[\left(A\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(A\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \right] + \left[\left(A\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n - \left(A\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s \right] \\ & + \left[\left(A\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_t - \left(A\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_b \right] + \overline{s\Delta V} = 0 \end{aligned} \quad (2.70)$$

เมื่อ Γ_ϕ คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) เพื่อให้สะดวกต่อเราจะใช้ตัวแปร $D = \frac{\Gamma A}{\delta x}$ แสดงแทน ฟลักซ์ของการแพร่ (Diffusive flux) และสามารถเขียนสมการของการแพร่ที่ทำการดิสcretize ใหม่เป็น

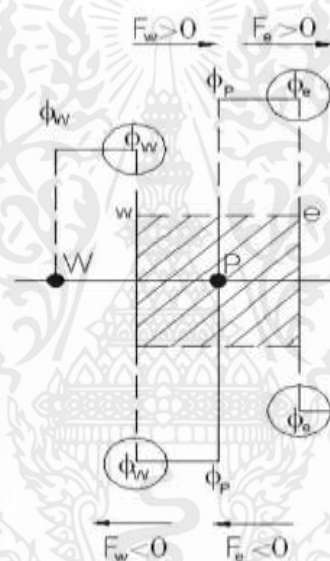
$$\begin{aligned} & [D_e(\phi_e - \phi_p) - D_w(\phi_p - \phi_w)] \\ & + [D_n(\phi_n - \phi_p) - D_s(\phi_p - \phi_s)] \\ & + [(D_t(\phi_t - \phi_p) - D_b(\phi_p - \phi_b))] \end{aligned} \quad (2.71)$$

ค่า $\phi_e, \phi_n, \phi_s, \phi_t$ และ ϕ_b เป็นค่าของ ϕ ที่พื้นผิวผนังของปริมาตรซึ่งหาได้ โดยการประมาณค่า ϕ ที่บริเวณผิวของปริมาตรนั้นมีหลายวิธีด้วยกันแต่ที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้ คือ ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่หนึ่ง (First order upwind scheme) ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่สอง (Second order upwind scheme) และระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK)

2.12 การประมาณค่าของอินทิกรัลพื้นผิว

ในการประมาณค่าของ ϕ บนผิวปริมาตรควบคุมในทอมการพาที่อยู่ใสมการ (2.68) สามารถหาได้จากการประมาณค่าด้วยระเบียบแบบต่างๆเช่น ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่หนึ่งวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่สองและระเบียบวิธีผลต่างแบบควิค โดยรายละเอียดของวิธีต่างๆ มีดังนี้

2.12.1 ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง สำหรับการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่งนั้น ค่าที่ต้องการหาคือค่า ϕ ใน กรณิ Fe เป็นบวก ค่าของ ϕ จะถูกกำหนดให้เท่ากับค่า ϕ_p สังเกตว่าจะให้เท่ากับค่าที่อยู่ทางด้านปลาย ลูกศร กรณิFe เป็นค่าลบ ค่า ϕ_e จะถูกกำหนดให้เท่ากับ ϕ_E



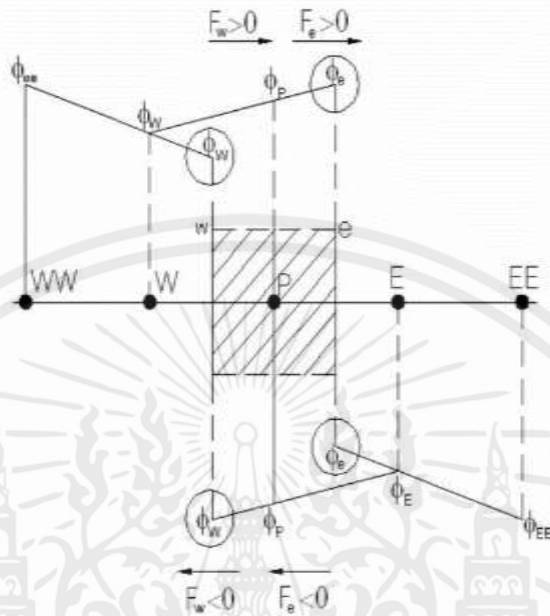
รูปที่ 2.16 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง [20]

$$\begin{aligned} \phi_e &= \phi_p : F_e \geq 0, & \phi_e &= \phi_E : F_e \leq 0, \\ \phi_w &= \phi_w : F_w \geq 0, & \phi_w &= \phi_p : F_w \leq 0, \end{aligned}$$

ดังนั้นสมการเขียนได้ดังนี้

$$F_e \phi_e = \phi_p [F_e] + [-F_e] \quad (2.72)$$

2.12.2 ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง ค่า ϕ จะประมาณค่าภายในพื้นที่ผิวของปริมาตรโดยใช้ตำแหน่งกริดข้างเคียงที่อยู่ปลายลูกศร 2 กริด (downstream) ดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง [20]

$$\phi_e = \frac{3}{2} \phi_p - \frac{1}{2} \phi_w \quad : \quad F_e \geq 0$$

$$\phi_w = \frac{3}{2} \phi_w - \frac{1}{2} \phi_{ww} \quad : \quad F_w \geq 0$$

$$\phi_e = \frac{3}{2} \phi_E - \frac{1}{2} \phi_{EE} \quad : \quad F_e \leq 0$$

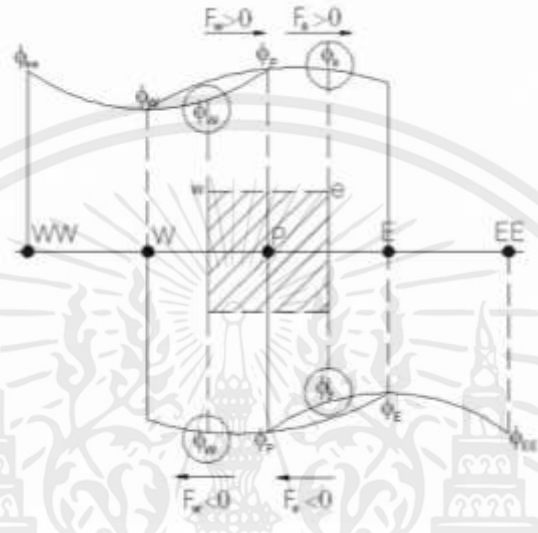
$$\phi_w = \frac{3}{2} \phi_p - \frac{1}{2} \phi_E \quad : \quad F_w \leq 0$$

เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_e \phi_e = \left(\frac{2}{3} \phi_E - \frac{2}{3} \phi_p - \frac{1}{8} \phi_w \right) [F_e] - \left(\frac{3}{4} \phi_E - \frac{3}{8} \phi_p - \frac{1}{2} \phi_{EE} \right) [-F_e] \quad (2.73)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 ระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก การประมาณค่า ϕ ด้วยระเบียบวิธีนี้ตั้งสมมติฐานอยู่บนค่าเฉลี่ยของระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง การหาค่าพื้นผิวนั้นหาได้จาก 2 กริดข้างเคียงอยู่ที่ปลายลม (downstream) และอีก 1 กริดที่อยู่ต้นลม(upstream)



รูปที่ 2.18 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก [20]

$$\phi_e = \frac{3}{8}\phi_E + \frac{3}{4}\phi_P - \frac{1}{8}\phi_w : F_e \geq 0$$

$$\phi_w = \frac{3}{8}\phi_P + \frac{3}{4}\phi_w - \frac{1}{8}\phi_w : F_w \geq 0$$

$$\phi_e = \frac{3}{8}\phi_P - \frac{3}{4}\phi_E - \frac{1}{8}\phi_{EE} : F_e \leq 0$$

$$\phi_w = \frac{3}{8}\phi_w - \frac{3}{4}\phi_P - \frac{1}{8}\phi_E : F_w \leq 0$$

ดังนั้นสมการเขียนได้ดังนี้

$$F_e \phi_e = \left(\frac{3}{8}\phi_E - \frac{3}{4}\phi_w - \frac{1}{8}\phi_w \right) [F_e] - \left(\frac{3}{4}\phi_E - \frac{3}{8}\phi_{EE} - \frac{1}{2}\phi_{EE} \right) [-F_e] \quad (2.74)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ϕ ของปริมาตรหนึ่งๆ กับตัวแปร ϕ_{nb} ของปริมาตรข้างเคียง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้ดังนี้

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (2.75)$$

โดยที่ตัวห้อย nb หมายถึง ปริมาตรข้างเคียง ส่วน P_a และ a_{nb} เป็นสัมประสิทธิ์ของการทำให้อยู่ในรูปเชิงเส้นสำหรับตัวแปร \mathcal{E} และ u_c ตามลำดับ ซึ่งจำนวนของปริมาตรข้างเคียงมีค่าเท่ากับด้านที่ล้อมรอบ ปริมาตรที่พิจารณา ส่วน b เป็นเทอมที่เพิ่มมาจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ

การหาผลเฉลยโดยวิธีการแยกพิจารณา (Segregate method) เป็นการแยกส่วนในการคำนวณระหว่างสมการโมเมนต์และสมการความต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณต้องสอดคล้องกัน สมการที่ (2.79) เป็นสมการโมเมนต์ที่ดีสคริตแล้วในแนวแกน x โดยได้พิจารณาผลของแรงที่เกิดจากความดัน (pA_f) และกำหนดให้ $\phi = u$

$$a_p u_p = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb} + \sum pA_f + B \quad (2.76)$$

โดยที่ A_f แทนพื้นที่ผิวที่พิจารณา B แทนแหล่งกำเนิดอื่นๆ ที่ปราศจากการกระจายความดันสำหรับโมเมนต์ในแนวแกน y และแนวแกน z ก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ส่วนสมการความต่อเนื่องที่ดีสคริตแล้วแสดงได้ดังนี้

$$\sum_f^{N_{faces}} \rho u_n A_f = 0 \quad (2.77)$$

โดยที่ N_{face} คือ เป็นจำนวนผนังล้อมรอบปริมาตร

u_n คือ ความเร็วที่ผนังปริมาตร

A_f คือ แทนพื้นที่ผิวที่พิจารณา

2.13 กระบวนการหาคำตอบ(Solution algorithm)

เพื่อให้ได้ค่าความดันและความเร็วในสมการโมเมนตัมและให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง ดังนั้นกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE (Semi – implicit Method for Pressure – Linked Equations Consistent) และ PISCO (Pressure implicit with Splitting of Operators) จึงถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบค่าความดันและความเร็วให้มีความสอดคล้องกัน[19] จากสมการ (2.77) เราจะกำหนด p เพื่อให้ได้ค่า u และนำมาปรับค่าที่ได้จากการคำนวณในรอบแรกเพื่อช่วยให้ผู้เข้าหาคำตอบเราจะเพิ่ม p' ขึ้นมา ดังนั้นสมการสามารถเขียนได้เป็น

$$a_p u_p^* = \sum (p_w^* - p_e^*) A_f + B \quad (2.78)$$

เมื่อ p_w^* และ p_e^* เป็นค่าความดันของแต่ละปริมาตรที่ติดกัน ในการแก้สมการจะเริ่มต้น ด้วยการสมมุติค่าความดัน p^* เพื่อหาค่า u^*, v^* และ w^* และค่าที่ได้จะต้องสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้เพิ่มเติมเทอม p' เข้ามาเพื่อปรับค่า p^* ในการคำนวณรอบต่อไปมีดังนี้คำนวณรอบต่อไป ซึ่งมีดังนี้

$$\begin{aligned} p &= p^* + p' \\ u &= u^* + u' \end{aligned} \quad (2.79)$$

โดยที่ p' คือ การตรวจสอบค่าความดัน (Pressure correction) ดังนั้นสมการ (2.81) สามารถเขียนได้เป็น

$$a_p u_p' = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb}' + \sum (P_w^* - P_e^*) A_f + B \quad (2.80)$$

ในกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE จะไม่พิจารณาเทอม $\sum_{nb} a_{nb} u_{nb}'$ ดังนั้นจะได้สมการที่ดีที่สุดของการตรวจสอบค่าความดันในปริมาตรเป็นดังนี้

$$u_p^* = \Delta d_f (p_f^* - p_e^*) \quad (2.81)$$

โดยที่เทอม d_f มีค่าเท่ากับ $d_f = \frac{A_f}{a_p}$ ในสมการโมเมนตัมที่ discretized แล้ว การปรับค่าความดันและ อัตราการไหลผ่านผนังปริมาตรในแต่ละครั้งนั้น จะเป็นไปตามสมการนี้

$$p = p^* + \alpha_p p' \quad (2.82)$$

โดยที่ α_p เป็นค่าแฟคเตอร์ปรับค่าสำหรับกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLEC นั้น เริ่มต้นจะ เหมือนกับกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE ที่กล่าวมาข้างต้น แต่ต่างกันที่นำเทอม $\sum_{nb} a_{nb} u'_{nb}$ มา พิจารณาด้วย ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ของ d_f เป็นฟังก์ชันของ $1 - \sum a_{nb} / a_p$ ดังนั้นสมการที่ discretized ของการ ตรวจสอบค่าความดันในปริมาตรจะเป็น $u'_p \Delta = \frac{d_f}{1 - \sum a_{nb} / a_p} (p_w^* - p_e^*)$ ส่วนการหาคำตอบแบบ PISO นั้นจะถูกปรับปรุงประสิทธิภาพของการคำนวณจาก SIMPLE โดยการเพิ่ม (Neighbor correction) และ (Skewness correction) ซึ่งได้เพิ่มวงจร (Loop) ในการคำนวณเพื่อให้ค่า ความดันและความเร็วของ สมการโมเมนตัมสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องเร็วขึ้นกระบวนการทำซ้ำนี้เรียกว่า การปรับค่า (Momentum correction) หรือ (Neighbor correction) กระบวนการหาคำตอบแบบ PISO นั้นทำให้การใช้เวลาในการประมวลผลต่อรอบการคำนวณมากขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่จะทำให้จำนวนรอบในการทำซ้ำเพื่อ ลู่เข้าหาคำตอบลดลงสำหรับ (Skewness correction) นั้นเป็นการปรับค่าฟลักซ์ที่ผนังและค่าความ แตกต่างของการตรวจสอบค่าความดัน

2.13.1 เงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยสิ่งสำคัญที่ขาดเสีย ไม่ได้คือเงื่อนไขขอบ ดังนั้นเงื่อนไขขอบเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในบริเวณ ขอบเขตของการคำนวณ ในการกำหนดเงื่อนไขขอบจำเป็นต้องคำนึงถึงความเป็นจริงที่เกิดขึ้น เพื่อให้การ จำลองปัญหาเหมือนจริงมากที่สุดซึ่งส่งผลถึงความถูกต้องของผลที่ได้จากการคำนวณสำหรับการจำลอง การไหลในงานวิจัยนี้ มีเงื่อนไขขอบดังต่อไปนี้

2.13.2 เงื่อนไขขอบที่ทางเข้า (Inlet boundary condition) ลักษณะของน้ำที่ทางเข้ากำหนดเป็น ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าความเข้มของการปั่นป่วน (Turbulence Intensity, I) ซึ่งจากค่าความเข้มของ การปั่นป่วน สามารถคำนวณหาค่า k และ \mathcal{E} ได้จาก

$$k = \frac{3}{2}(\bar{u}l)^2 \quad (2.83)$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad (2.84)$$

เมื่อ C_μ คือค่าคงที่โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.09 และ ($l=0.7$ โดยที่ l คือค่าคุณลักษณะความยาว (Characteristic Length) l คือ ความยาวสเกลยาว

2.13.3 เงื่อนไขขอบเขตที่ผนัง (Wall boundary condition) สำหรับเงื่อนไขขอบเขตที่บริเวณผนัง กำหนดให้ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ (No Slip Condition) และบริเวณใกล้ๆ ผนังกำหนดให้ใช้ฟังก์ชันผนังมาตรฐาน (Standard Wall Function) [11] โดยกำหนดให้ค่าความเร็วเฉลี่ยสมการฟังก์ชันผนังมาตรฐาน เขียนได้เป็น

$$u^+ = \frac{1}{k} \ln(Ey^+) \quad (2.85)$$

$$u^+ = \frac{\bar{u}_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\tau_w / P} \quad (2.86)$$

$$y^+ = \frac{p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} y_p}{\mu} \quad (2.87)$$

โดยที่ K คือค่าคงที่ของวอนการ์มันน์ (Von Karman Constant) มีค่าเท่ากับ 0.42 ส่วน E คือค่าคงที่จากการทดลองมีค่าเท่ากับ $9.81 u_p$ คือ ค่าความเฉลี่ยที่จุด P, k_p คือ ค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนที่จุด p, y_p คือ ระยะทางที่จุด P กับผนังและ u คือค่าความหนืดของของไหล โดยทั่วไปแล้วเมื่อ ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จะเป็นไปตามสมการ [9] แต่ที่ $y^+ > 11.25$ ค่าของความเร็วเฉลี่ยจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดแบบราบเรียบ (Laminar Stress-strain Relationship) ดังนี้

$$u^+ = y^+ \quad (2.88)$$

2.13.4 เงื่อนไขขอบที่ทางออก (Outlet boundary condition) กำหนดเป็นแบบ (Out Flow) ซึ่งได้ค่าฟลักซ์ของการแพร่มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยไม่คิดผลจากความดันที่ทางออกย้อนกลับ (Back Pressure) และการไหลอยู่ในช่วงพัฒนาเต็มที่แล้ว (Fully Developed)

2.14 ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ

สำหรับการหาผลเฉลยนั้น จะใช้การคำนวณซ้ำ ซึ่งขั้นตอนในแต่ละรอบมีรายละเอียดแสดงในภาพประกอบ 11 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.14.1 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น และทำการสมมติค่าเริ่มต้นในการคำนวณ

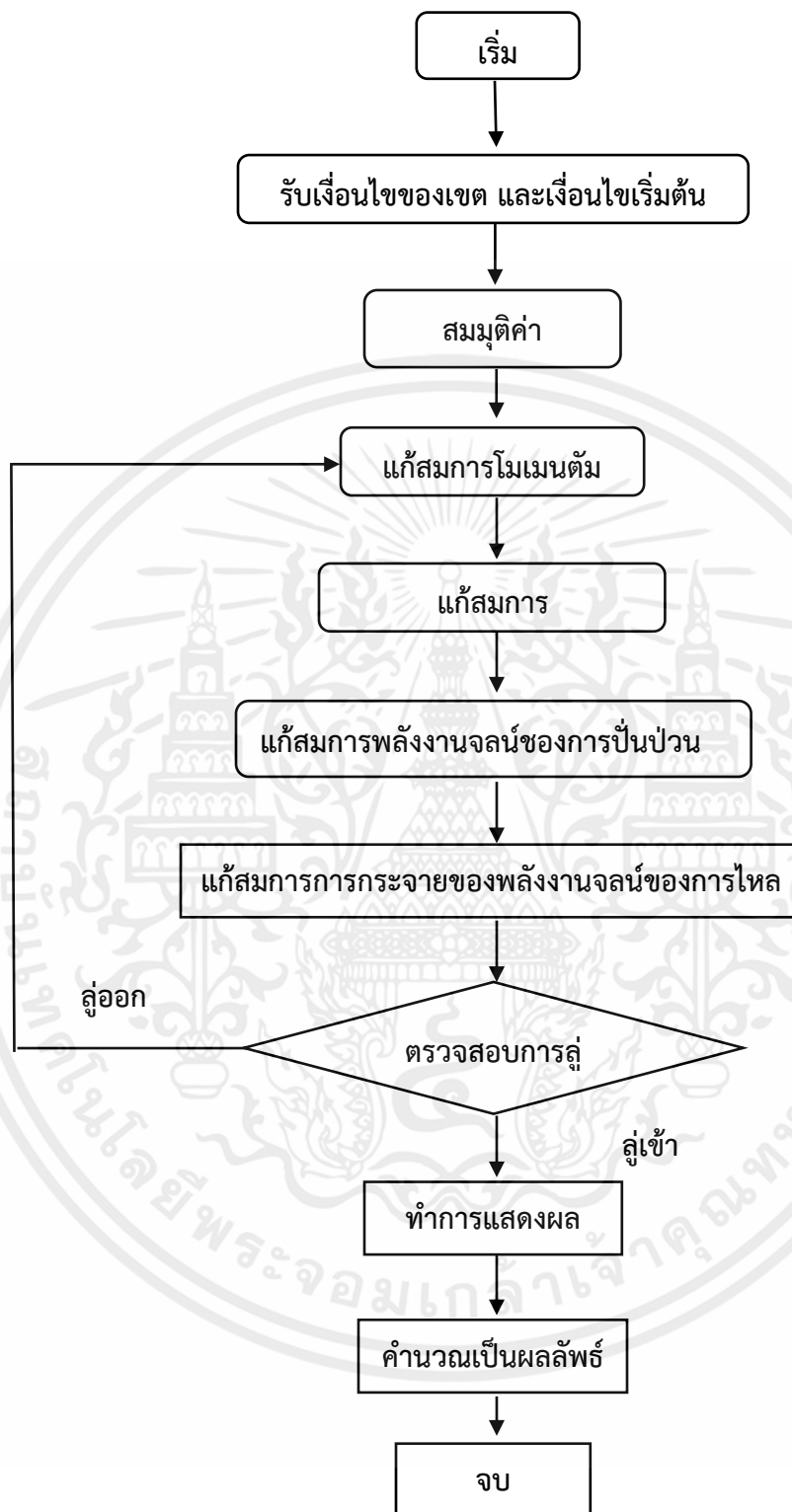
2.14.2 กำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ เป็นไหลผ่านรูปทรงของเครื่องปรับอากาศที่มีที่ระบายความร้อน โดยให้มีการไหลแบบปั่นป่วน รวมทั้งมีการถ่ายเทความร้อน

2.14.3 แก้สมการโมเมนตัมเพื่อทำการหาความเร็ว

2.14.4 แก้สมการพลังงานเพื่อทำการหาพลังงานรวมจำเพาะ

1) แก้สมการแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน และอัตราการสูญเสียของพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้แบบจำลอง $k-\epsilon$ model

2.14.5 กลับไปทำในขั้นตอนที่ 3 - 5 ใหม่จนกระทั่งได้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่าเดิม จะได้ผลการคำนวณที่ลู่อู่เข้าหาคำตอบโดยใช้ Criterion convergence 10



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง“การจำลองผลและวิเคราะห์ค่าความสบายตัวทางความร้อนของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองจำลองสถานการณ์ของการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SolidWorks Flow Simulation 2020) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะความเร็วของอากาศและอุณหภูมิที่ปัจจัยของค่าความสะดวกสบายทางความร้อนภายในห้องเรียน เพื่อการทราบค่าความสบายตัวทางความร้อนและปัจจัยที่ส่งผลต่อผู้ใช้ภายในห้อง จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย สามารถแบ่งขั้นตอนของการวิจัยได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับลักษณะความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศและอุณหภูมิที่ไหลออกจากเครื่องปรับอากาศภายในห้อง ดูผลกระทบค่าความสะดวกสบายที่ผู้ใช้งานในห้องจะได้รับในปัจจุบัน

ส่วนที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการวัดสภาพจริงจากห้องปรับอากาศในกรณีศึกษาประกอบด้วย ความเร็วลม และอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง พร้อมกับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความสะดวกสบายทางความร้อนของห้องเรียน โดยจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SolidWorks Flow Simulation 2020) ประกอบด้วย การกำหนดปัจจัยโดยอาศัยข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การกำหนดตัวแปรจากการศึกษาเพื่อการสร้างแบบจำลองของตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์และสรุปผลของแต่ละตัวแปร

ส่วนที่ 4 สรุปเพื่อเสนอแนะแนวทางรูปแบบการปรับอากาศภายในเพื่อให้ผู้ใช้งาน ได้รับค่าความสะดวกสบายทางความร้อนที่เหมาะสมในปัจจุบันต่อไป

3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2020

ในการศึกษานี้เราจะใช้โปรแกรม (SolidWorks Flow Simulation 2020) ในการสร้างแบบจำลอง การเกิดการไหลเวียนของอากาศในห้องปรับอากาศ โดยจะทำการวิเคราะห์การไหลเวียนที่เกิดขึ้นในห้องปรับอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้การไหลเวียนอากาศในห้องปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

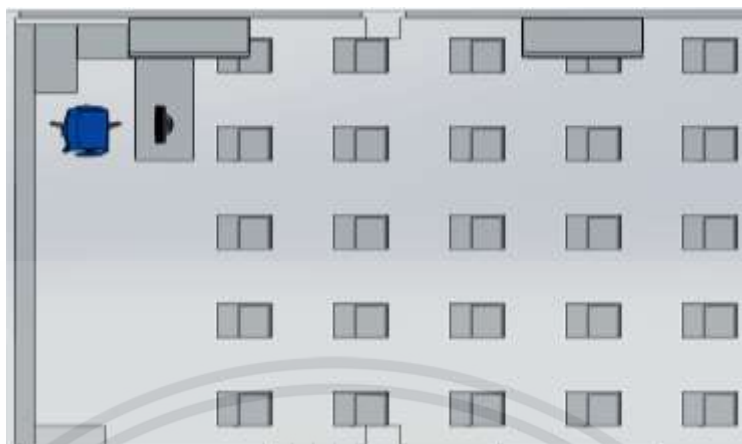
ดังนั้นเราจึงเริ่มต้นจากการศึกษากับโปรแกรม SOLIDWORKS ในการออกแบบห้องและเฟอร์นิเจอร์ในห้อง ศึกษาการทำงานของ SOLIDWORK FLOW SIMULATION

3.2 กรณีศึกษาสถานที่ทำการสำรวจและกลุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย

จากการสำรวจภาคสนาม (Field Study) ห้องเรียนที่ใช้ในการเรียนการสอนมีการใช้งานเพื่อกลุ่ม นักศึกษาและบุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรชุมพร เขตอุตสาหกรรมดี ห้อง E312 พื้นที่ห้องที่มีขนาดความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และความสูง 3 m โดย ห้องที่มีอากาศถ่ายเทได้ดีมีประตูเข้าออกได้สะดวกมีแสงสว่างเพียงพอและมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ขนาด 25000 BTU/h ในส่วนของงานวิจัยนี้จะทำการจำลองแบบของห้องเรียนโดยจะมีโต๊ะและเก้าอี้ของ นักศึกษาจำนวน 26 ตัว ภายในห้องซึ่งมีการวางผังพื้นที่ ดังนี้



รูปที่ 3.1 ห้องที่ใช้ในการศึกษาทดลอง



รูปที่ 3.2 ห้องที่เขียนในโปรแกรม SOLIDWORKS

โดยห้องเรียนนั้นมีขนาดพื้นที่ขนาดความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศอยู่ด้านขวาของห้อง ไม่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศภายในห้อง เมื่อมีการใช้งานบุคลากรจะปิดประตูและหน้าต่างเพื่อการปรับอากาศภายในห้อง โดยกลุ่มตัวอย่างโมเดลงานวิจัยนี้จะทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 26 คน แบ่งเป็นเพศชาย 26 คน มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ มีสุขภาพร่างกายที่ปกติ และได้กำหนดเครื่องแต่งกายของกลุ่มตัวอย่าง โดยให้ใส่เสื้อยืดแขนสั้น กางเกงขายาว เพื่อควบคุมค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo value)

3.3 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือช่วยวิจัย 2 ลักษณะได้แก่

เครื่องมือเก็บข้อมูลภาคสนาม

1) GM320 Beneath เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด Infrared Thermometer ช่วงการวัด 50 °C ถึง 380°C ความแม่นยำ $\pm 1.5\%$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ หรือสำหรับวัดอุณหภูมิผนังภายในของห้องและอุปกรณ์ภายในห้อง



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด GM320 Beneath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องวัดความเร็วลม-วัดอุณหภูมิ (DIGICON DA-43A) ความชื้น:ย่านวัด 5–95% RH, ความละเอียด 0.01%RH อุณหภูมิ:ย่านวัด 0~50°C / 32~122 °F, ความละเอียด 0.01°C / 0.01°F Dew Point : ย่านวัด -25.3 ~ 48.9°C / -13.5~ + 120.1°F, ความละเอียด 0.01 °C / 0.01°F วัดความเร็วลมได้สูงถึง 25 m/s มีย่านการวัดความเร็วลมหลายย่าน : m/s , km/h , f/min , $knots$ สำหรับวัดความเร็วของเครื่องปรับอากาศภายในห้อง



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความเร็วลม-วัดอุณหภูมิ (DIGICON DA-43A)

3) ตลับเมตร Stanley 30-696N Tylon Measuring Tape 5 m โดยใช้ตลับเมตรในการวัดความกว้างความยาวความสูงภายในห้อง



รูปที่ 3.5 ตลับเมตร Stanley 30-696N Tylon Measuring Tape 5 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เครื่องวัดความเร็วลม-วัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเร็วลม (Testo 405-V1) โดยเครื่องมือนี้จะมีช่วงการวัดความเร็วลมอยู่ที่ช่วงการวัด 0 และ 10 m/s ก้านโพรบยึดได้สูงสุด 300 mm หน้าจอขนาดใหญ่ ปรับองศาหน้าจอได้มีไฟหน้าจอ สามารถอ่านค่าได้ในที่มืดยี่ห้อ Testo เครื่องวัดความเร็วลม (Testo 405-V1) สำหรับวัดความเร็วของอากาศภายในห้องในแต่ละจุด



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเร็วลม (Testo 405-V1)

5) มิเตอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (DIGICON TH-02) มิเตอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ย่านการวัด (-10+50 °C) (14 - 122 °F) ความชื้น: 20% ~ 95% RH ความละเอียด อุณหภูมิ: 0.1 °C (0.1 °F) ความชื้น: 1% RH สำหรับวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง



รูปที่ 3.7 มิเตอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (DIGICON TH-02)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น (DIGICON HT-776) แสดงผลค่าอุณหภูมิความชื้นหรือ Dew Point หรือ Wet Blb ได้พร้อมกันเลือกหน่วยวัดเป็น °C หรือ °F ช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ 10% ถึง 95% ความละเอียด 0.1°C ความแม่นยำ ±3% ช่วงการวัดอุณหภูมิ -20 ถึง 60°C ความละเอียด 0.1% ความแม่นยำ ±1°C



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบมือถือ (DIGICON HT-776)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 เครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองและช่วยวิเคราะห์ข้อมูล

ได้แก่ โปรแกรม (SolidWorks Flow Simulation 2020) เป็นเครื่องมือสำหรับการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษารูปแบบทิศทางการระบายอากาศและความเร็วลมภายในพื้นที่การทดลอง โดยมีเงื่อนไขการจำลองสถานการณ์ดังนี้

- 1) เป็นการจำลองสถานการณ์ในลักษณะ 3 มิติ กำหนดให้โปรแกรมแสดงผลการหมุนเวียนอากาศในพื้นที่
- 2) กำหนดความเร็วลมเข้าและออกของพื้นที่ปล่อยอากาศเข้าและพื้นที่ปล่อยอากาศออกเป็นเมตรต่อวินาที
- 3) รายละเอียดการป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถดูได้จากภาคผนวก ก. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SolidWorks Flow Simulation 2020) เป็นโปรแกรมที่สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟฟิก 3 มิติ ลักษณะรูปแบบทั้ง เส้นชั้น (Contour line) ลูกศร (Arrow) และทิศทาง (Vector) เพื่อแสดงผลของข้อมูลตัวแปรต่างๆในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีการแสดงผล 2 ลักษณะ

3.3.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

เครื่องมือที่ช่วยในการเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้มีหลายชนิด ดังนั้นเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ จึงต้องทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือแต่ละชนิด (Calibration) ดังนี้

- 1) การเทียบมาตรฐานของกรณีศึกษา กับแบบจำลองของกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม (SolidWorks Flow Simulation 2020) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของกรณีศึกษาจริง จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองกับกรณีศึกษาจริงซึ่งได้ใช้ห้องปรับอากาศที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเป็นตัวแทนของกรณีศึกษาจริง การเทียบมาตรฐานอาศัยการเก็บข้อมูลจากกรณีศึกษาโดยการวัดจากเครื่องมือ ณ สถานที่จริง และการเก็บข้อมูลจากแบบจำลองโดยอาศัยการป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วทำการคำนวณแล้วจึงนำข้อมูลทั้งสองส่วนมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาข้อสรุปต่อไป รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้
- 2) การเก็บข้อมูลจากห้องปรับอากาศกรณีศึกษา การเก็บข้อมูลจากกรณีศึกษาประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลความเร็วกระแสลมและอุณหภูมิภายในห้อง โดยกำหนดตำแหน่งที่จะทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ปรากฏในภาพที่ ในระดับความสูงอ้างอิงจากระดับใช้งานคือ 1 เมตรซึ่งเป็นระดับของบริเวณการหายใจของมนุษย์รายละเอียดตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลมีดังนี้
- 3) ในการติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้ง 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณพื้นที่เปลี่ยนถ่ายและในห้องปรับอากาศที่ทำการทดลอง ซึ่งจะติดตั้งอุปกรณ์ ณ กึ่งกลางของแต่ละพื้นที่อีกทั้งผู้วิจัยได้ตั้งค่าเวลาการบันทึกข้อมูลของ

เครื่องมือโดยอัตโนมัติทุก ๆ 10 วินาที และได้ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือที่ทำการวัดสภาพอากาศก่อนที่ทำการทดลองให้เครื่องมือทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อให้เครื่องมือมีค่าเท่ากัน

3.4 การเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองสถานการณ์กับกรณีศึกษาจริง

อาศัยการเปรียบเทียบทางสถิติจากข้อมูลความเร็วลมและอุณหภูมิที่วัดได้จริง จากกรณีศึกษา กับ ข้อมูลที่คำนวณได้โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการโดยละเอียด ดังนี้

- 1) หาค่าความเร็วลมและอุณหภูมิในแต่ละจุดจากการวัดจริงจากพื้นที่
- 2) สร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ปล่อยออกมาจากช่องปล่อยลมออก 0.52 0.44 และ 0.37 m^3/s และ อุณหภูมิที่ 33 °C 25 °C จนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอยู่ที่ 18 °C เพื่อหาอัตราการไหลภายในห้องและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆตามที่กำหนดไว้
- 3) หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและอุณหภูมิภายในพื้นที่ที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลจากการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมและอุณหภูมิ จากการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมภายในจากการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ณ ตำแหน่งต่างๆของห้องในกรณีศึกษา

ตำแหน่ง	ค่าความเร็วลมในพื้นที่ (m/s)			ส่วนต่าง (%)
	วัดจริง	แบบจำลอง	ส่วนต่าง	
1	0.41	0.44	-0.03	3
2	0.25	0.2	0.05	5
3	0.2	0.23	-0.03	3
4	0.21	0.3	-0.09	9
5	0.19	0.18	0.01	1
6	0.4	0.44	-0.04	4
7	0.41	0.48	-0.07	7
8	0.25	0.31	-0.06	6
9	0.16	0.09	0.07	7
10	0.21	0.12	0.09	9
11	0.23	0.21	0.02	2
12	0.23	0.28	-0.05	5
13	0.25	0.3	-0.05	5
14	0.12	0.2	-0.08	8
15	0.14	0.13	0.01	1
16	0.24	0.22	0.02	2
17	0.18	0.12	0.06	6
18	0.26	0.28	-0.02	2
19	0.18	0.12	0.06	6
20	0.17	0.11	0.06	6

21	0.4	0.42	-0.02	2
22	0.42	0.48	-0.06	6
23	0.42	0.39	0.03	3
24	0.46	0.39	0.07	7
25	0.11	0.17	-0.06	6
26	0.4	0.32	0.08	8
27	4.65	4.56	0.09	9
28	4.58	4.65	-0.07	7
เฉลี่ย	0.57	0.57	-0.0004	4.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลคุณภุมิภายในจากการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ณ ตำแหน่งต่างๆของห้องในกรณีศึกษา

ตำแหน่ง	ค่าคุณภุมิในพื้นที่			ส่วนต่าง(%)
	วัดจริง	แบบจำลอง	ส่วนต่าง	
1	18.31	18.18	0.13	13
2	18.26	18.15	0.11	11
3	18.11	18.2	0.09	9
4	18.15	18.33	0.18	18
5	18.96	18.91	0.05	5
6	18.27	18.46	0.19	19
7	18.17	17.99	0.18	18
8	18.02	18.12	0.1	10
9	18.59	18.5	0.09	9
10	18.59	18.41	0.18	18
11	18.28	18.41	0.13	13
12	18.55	18.45	0.1	10
13	18.17	18.14	0.03	3
14	18.63	18.5	0.13	13
15	18.35	18.26	0.09	9
16	18.12	18.2	0.08	8
17	18.98	18.96	0.02	2
18	18.57	18.42	0.15	15
19	18.57	18.4	0.17	17
20	18.56	18.49	0.07	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21	18.38	18.43	0.05	5
22	18.75	18.66	0.09	9
23	18.09	18.17	0.08	8
24	18.26	18.42	0.16	16
25	19.17	19.1	0.07	7
26	19.52	19.45	0.07	7
27	11	11.02	0.02	2
28	11	11.03	0.03	3
เฉลี่ย	17.94	17.92	0.10	0.14

เมื่อนำค่าความเร็วลมและอุณหภูมิภายในห้องที่ได้จากการจำลองและจากสถานที่จริง มาเปรียบเทียบกันเพื่อทำการทดสอบความถูกต้อง (Calibration) ระหว่างการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิภายในสถานที่จริง เปรียบเทียบผลกับการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิภายในจากการจำลอง พบว่า

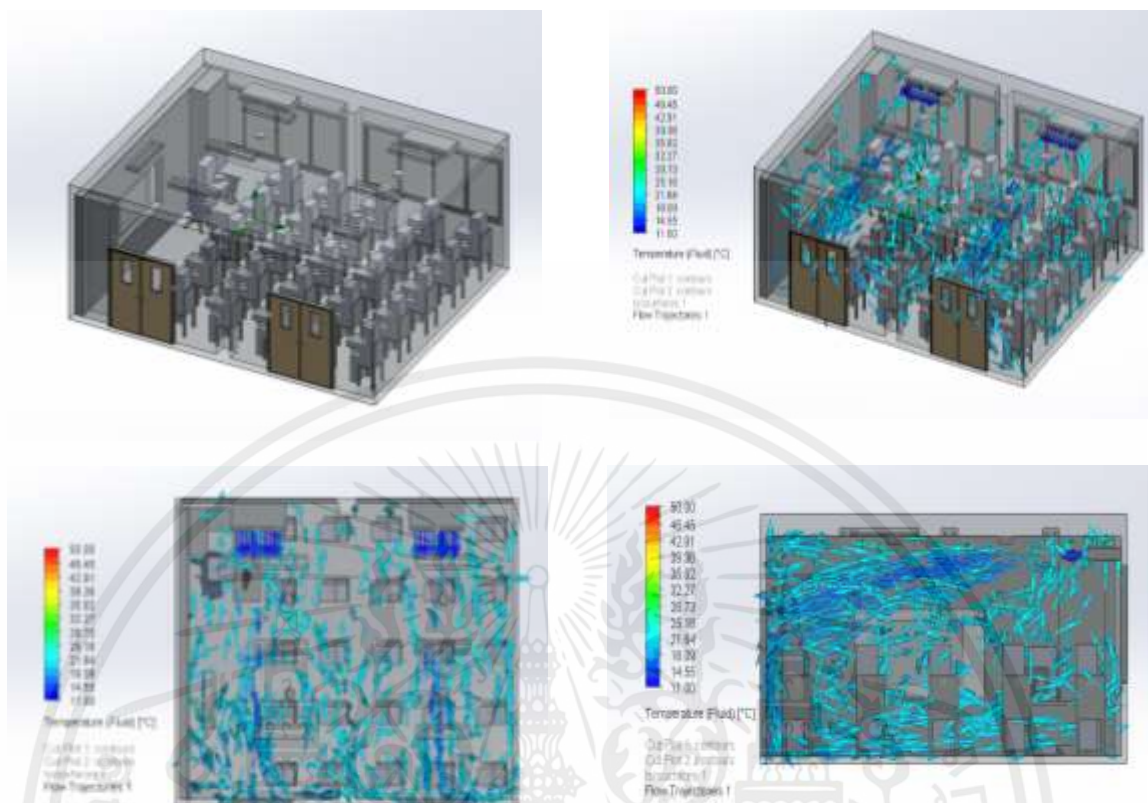
กรณีศึกษาสถานที่จริง : มีค่าความเร็วลมภายในโดยเฉลี่ย 0.14 m/s

กรณีศึกษาแบบจำลอง : มีค่าความเร็วลมภายในโดยเฉลี่ย 0.12 m/s

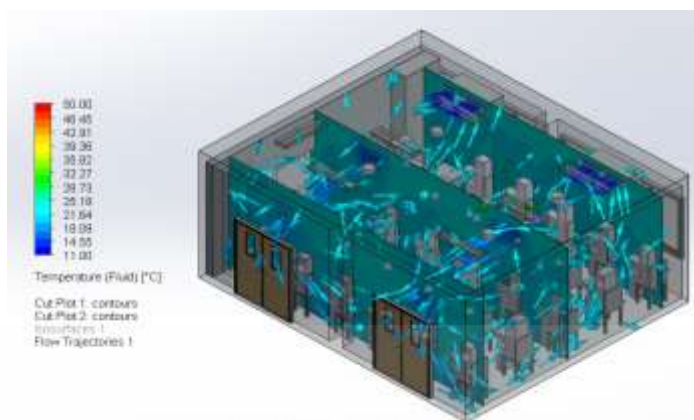
กรณีศึกษาสถานที่จริง : มีค่าความอุณหภูมิภายในโดยเฉลี่ย 0.14 m/s

กรณีศึกษาแบบจำลอง : มีค่าความอุณหภูมิภายในโดยเฉลี่ย 0.12 m/s

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันที่ค่าความเร็วลมภายในโดยเฉลี่ยแล้ว ในกรณีศึกษาสถานที่จริง มีค่ามากกว่าใน กรณีศึกษาแบบจำลอง อาจมีการคลาดเคลื่อนของข้อมูลความเร็วลมที่ต่างกันเพราะการถือเครื่องมือวัดความเร็วลมที่วัดจริงอาจมีการสั่นจึงส่งผลให้ค่ายังไม่นิ่งพอเนื่องจากมีการกีดขวางของตำแหน่งการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ภายในเกิดขึ้น สำหรับค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวิจัยและเมื่อพิจารณาความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัยแบบอิงกลุ่มโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของความขึ้นสัมพันธ์ วิธีสอบซ้ำโดยใช้สูตรของเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation) พบว่าได้ค่า 0.959 คือ มีค่าความเชื่อมั่นสูง รายละเอียดการหาค่าความเชื่อมั่นสามารถศึกษาได้จาก ภาคผนวก ข. ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจำลองสภาพการระบายอากาศภายในอาคาร คือ SolidWorks Flow Simulation 2020 เข้ามาใช้ในการทำวิจัยนั้นมีความเชื่อถือได้ (Validity)



รูปที่ 3.9 แสดงภาพจากการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงลักษณะการระบายอากาศโดยรวมของพื้นที่ แบบสามมิติ ภาพแนวราบจากด้านบน และแนวตั้งจากด้านข้างของห้องกรณีตัวอย่างศึกษาห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 18 °C อัตราการไหลที่มากที่สุดคือ 0.57 m³/s



รูปที่ 3.10 แสดงภาพจากการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงลักษณะการระบายอากาศโดยรวมของพื้นที่แบบสามมิติ และอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมในพื้นที่จริง

3.5 การทำการทดลอง

การทำการทดลองจะทดลองในอาคารคณะวิศวกรรมของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ซึ่งมีกลุ่มตัวอย่างโมเดลออกเป็น 26 คนซึ่งจะทำการทดลองที่ต่างกันโดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีใหญ่ คือ กรณีที่ 1 อยู่ในห้องปรับอากาศคงที่ที่อุณหภูมิ 18 °C กรณีที่ 2 อยู่ในห้องปรับอากาศคงที่ที่อุณหภูมิ 25 °C และ กรณีที่ 3 อยู่ในห้องปรับอากาศคงที่ที่อุณหภูมิ 33 °C โดยในแต่ละกรณีจะมีความเร็วของอากาศที่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 0.52, 0.44 และ 0.37 m³/s ตามลำดับ เมื่อได้กำหนดข้อมูลการรับรู้อุณหภูมิของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกรณีแล้ว จะนำเอาข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆได้

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยวิทยานิพนธ์หัวข้อ“การจำลองผลและวิเคราะห์ค่าความสบายตัวทางความร้อนของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน”มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.6.1) ทำการศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2020 และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (PMV) และ (PPD) และรวบรวมข้อมูลรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.6.2) ติดต่อประสานห้องเรียนรวมเพื่อที่จะทำการวิจัย วัดความกว้าง ความยาว ความสูงของห้อง และนำแบบของห้อง E312 มาเขียนแบบลงในโปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลิมูเลชัน (SolidWorks Flow Simulation 2020)

3.6.3) วางแผนและเตรียมการวิจัยอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับที่ใช้ในการตรวจ วัดอุณหภูมิ, ความเร็วลม และความชื้น ปัจจัยที่ใช้ในการสำรวจตำแหน่งที่ต้องการจะวัดแต่ละค่าโดยทำการวัดค่าอุณหภูมิ, ความเร็วลม ภายนอกและภายในห้อง โดยมิเตอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ดังรูปที่

3.6.4) ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้นภายนอกห้องและภายในห้องโดยใช้เครื่อง (DIGICON TH-02) โดยอุณหภูมิภายนอกเริ่มต้นจะอยู่ที่ 3.33 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 82 % ส่วนภายในห้องจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 33.2 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 80 % ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12

3.6.5) ออกแบบอุปกรณ์และติดตั้งเครื่องวัดติดตั้งอุปกรณ์โดยใช้แทนวัดในการติดตั้งอุปกรณ์โดยจะใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Testo 405-V1) ติดตั้งบริเวณด้านหน้าขาไม้ค้ำและเครื่องวัดความเร็วลมและวัดอุณหภูมิ (DIGICON DA-43A) ติดตั้งบริเวณกึ่งกลางของแทนวัดแต่ละตำแหน่งและติดอุปกรณ์ทั้ง 2 อย่าง เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนและได้รับความเสียหายดังรูปที่ 3.14

3.6.6) ทำการสำรวจและดำเนินการห้องE312 ในอาคารเรียนรวม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ โดยการจัดห้องให้มีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 26 คน โดยกำหนดจุดที่นั่งตามตำแหน่งที่นั่งและกำหนดจุดที่ได้ทำการวิจัยและทำการตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ ดังรูปที่ 3.14 เช่น อุณหภูมิและอัตราการไหลของแอร์ทางออก-เข้าของแอร์ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16

3.12 ห้องและการวัดอุณหภูมิ, ความเร็วลมในแต่ละตำแหน่ง ในการสำรวจแต่ละตำแหน่งจะทำการวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมตามแนวของ (ASHRAE Standard 55-2004)

1) วัดอุณหภูมิอากาศ, ความเร็วลม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ติดตั้งเครื่องมือวัดเครื่องวัดเหนือระดับพื้น 1 เมตรโดยจะวัดเป็นเวลา 1 นาทีก่อนที่จะเก็บค่าแต่ละตำแหน่ง

2) ส่วนปัจจัยด้านบุคคลและข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วยในส่วนของ เสื้อผ้า กิจกรรมที่ทำ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าดัชนีภาวะความสบาย (Comfort vote, CV) โดยจะอิงกับค่าตัวเลขระดับความรู้สึกสบาย และถือว่าเป็นความรู้สึกของกลุ่มคนตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ในส่วนของปัจจัยที่มีผลต่อภาวะความสบาย ได้แก่ อายุ เพศ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ที่มีเครื่องไม่มีเปิดปรับอากาศหรือมีการเปิดเครื่องปรับอากาศ นำข้อมูลในส่วนต่างๆมาวิเคราะห์หาความสบายทั้งในแนวทางของ ASHRAE

3) ประเมินภาวะความสบายตามแนวทาง (ASHRAE thermal) โดยนำค่าที่ได้จากการสำรวจและการตรวจวัดมาคำนวณหาค่าดัชนีที่นายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote, PMV) และเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคนที่ไม่รู้สึกสบาย (Predicted percentage dissatisfied, PPD) ภายในห้องเรียน E302สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ โดยนำค่าที่ได้จากการสำรวจและการตรวจวัดมาในตัวโปรแกรมโซลิดเวิร์คโฟลว์ซิมูเลชัน (Solid work flow simulation) แล้วนำมาวิเคราะห์และทำการสร้างกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่า

3.6.6 สรุปผลการประเมินภาวะสบายของกลุ่มตัวอย่างภายในห้องเรียนและเสนอแนะแนวทางในการปรับสภาพอากาศให้เหมาะสม



รูปที่ 3.11 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้อง



รูปที่ 3.12 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ออกแบบอุปกรณ์และติดตั้งเครื่องวัดเครื่องวัดความเร็วลมและความชื้น (Testo 405-V1) และเครื่องวัดความเร็วลม-วัดอุณหภูมิ (DIGICON DA-43A) แทนวัด



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งในแต่ละจุดที่ใช้ในการวัดค่าความเร็วลม, อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การวัดความเร็วลมและอุณหภูมิของแอร์ที่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3.16 การวัดความเร็วลมและอุณหภูมิของลมที่เข้าไปในเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

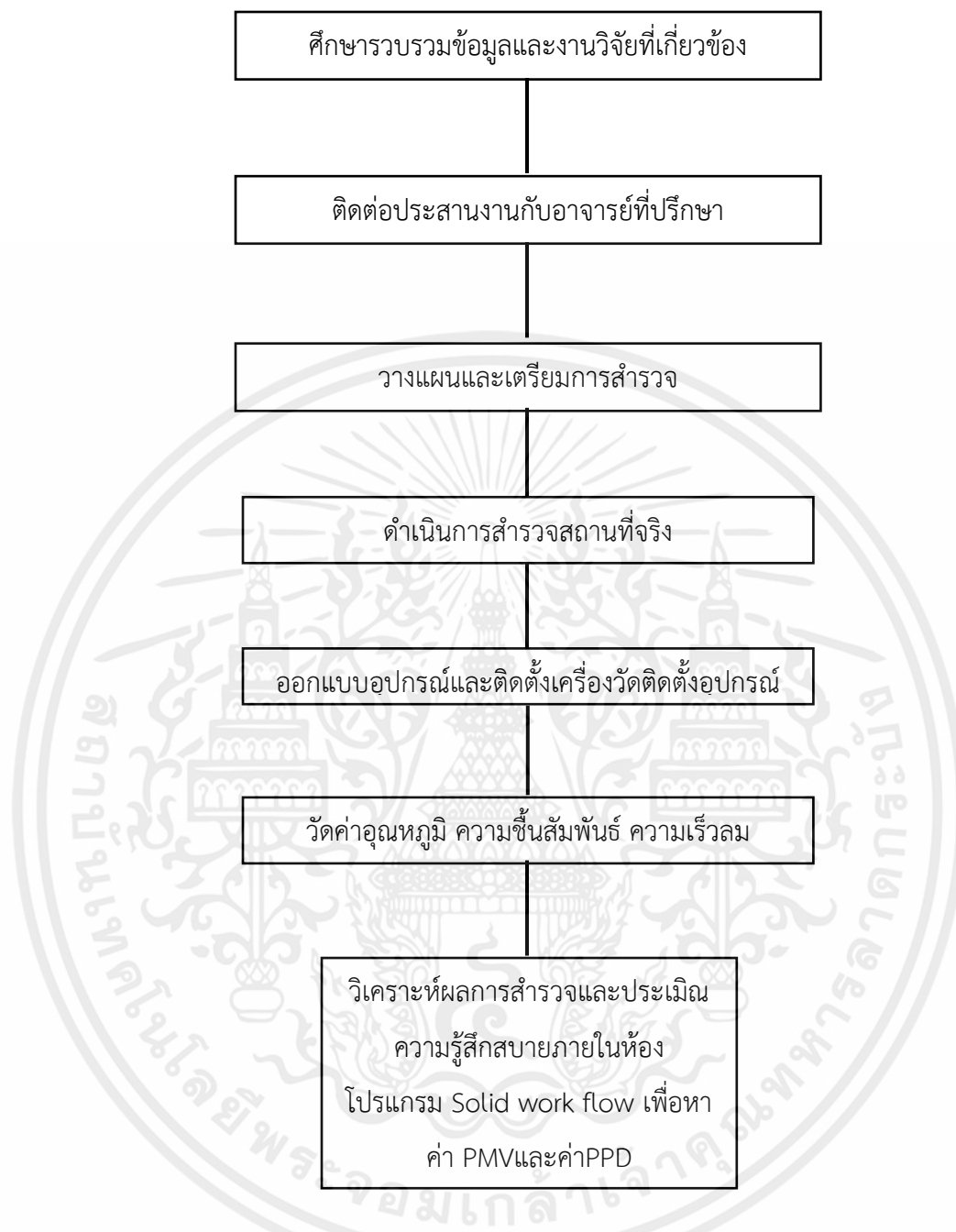
สถานการณ์จำลองต่างๆ ที่คำนวณและประมวลผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะให้ผลลัพธ์ในหลายลักษณะ เพื่อตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ได้แก่ ข้อมูลการไหลเวียนของอากาศภายในห้อง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของอากาศภายในห้อง วิเคราะห์ค่า PMV และ PPD มีรายละเอียดการเก็บข้อมูลดังนี้

3.7.1 ข้อมูลรูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมภายในห้องเรียนแสดงในรูปแบบของเส้นการไหลของกระแสลม กำหนดทิศทางด้วยหัวลูกศร โดยกำหนดให้ระยะห่างแต่ละเส้นเท่ากัน ณ ต้นทางกระแสลม ทำการบันทึกรูปแบบของเส้นการไหลของกระแสลมโดยรวมของพื้นที่

3.7.2 ทำการเก็บข้อมูลเสื้อผ้าที่ใส่และกิจกรรมของนักศึกษาและอาจารย์ภายในห้องและเก็บข้อมูลที่กำหนดตำแหน่งที่นั่งในแต่ละจุดเพื่อหาความสภาวะสบายในแต่ละตำแหน่ง

3.7.3 ทำการเก็บข้อมูลการวัดความเร็วของลมที่ผ่านเข้าทางด้านช่องลมกลับ (V) โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม และทำการวัดจุดบนหน้าตัดของช่องลมกลับ (ทั้ง 2 จุด) เพื่อคำนวณผลเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งนี้เหตุผลในการเลือกวัดค่าดังกล่าวทางด้านลมกลับแทนที่จะเป็นด้านลมจ่าย ประกอบด้วย

- 1) ด้านลมกลับมีขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่าด้านลมจ่าย ทำให้การไหลของลมมีลักษณะแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และความเร็วของลมที่วัดได้จะมีค่าที่แน่นอนและไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับด้านลมจ่ายที่เป็นแบบการไหลปั่นป่วน (Turbulent Flow)
- 2) ทิศทางของลมกลับมีทิศทางที่แน่นอนคือตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ซึ่งต่างจากด้านลมจ่ายที่ทิศทางไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานจะปรับในทิศทางใด ทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดได้ค่อนข้างมาก



รูปที่ 3.17 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการดำเนินการและอภิปรายผล

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองอัตราการไหลของอากาศในห้องปรับอากาศ ที่มีขนาดห้อง 44 ตารางเมตร พร้อมทำการบันทึกค่าของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ PMV PPD ในแต่ละระดับอัตราการไหลของอากาศ โดยห้องมีค่าความชื้นและอุณหภูมิห้องที่กำหนดไว้เหมือนกันแล้วนำผลมาวิเคราะห์เพื่อหาว่าอัตราการไหลของอากาศระดับใดที่จะทำให้ ห้องปรับอากาศนั้นมีค่า Thermal Comfort กรณีดังนี้

4.1 วิเคราะห์แบบจำลองห้องเรียนภายในห้องเรียนที่มีขนาดความกว้าง 5.9 m ความยาว 7.5 m และมีความสูง 3 m และทดสอบอุณหภูมิที่ 18 °C, 25 °C และ 33 °C

4.1.1 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.52 m³/s ที่อุณหภูมิ 18 °C

4.1.2 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m³/s ที่อุณหภูมิ 18 °C

4.1.3 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.37 m³/s ที่อุณหภูมิ 18 °C

4.1.4 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.52 m³/s ที่อุณหภูมิ 25 °C

4.1.5 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m³/s ที่อุณหภูมิ 25 °C

4.1.6 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.37 m³/s ที่อุณหภูมิ 25 °C

4.1.7 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.52 m³/s ที่อุณหภูมิ 33 °C

4.1.8 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.44 m³/s ที่อุณหภูมิ 33 °C

4.1.9 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ 0.37 m³/s ที่อุณหภูมิ 33 °C

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิด้านลมจ่าย (25000 BTU/h)

TRANE รุ่น CONVERTIBLE MCX524HB50BA TTK524LB50GA	Air flow rate [m ³ /s]		
	Hight (0.52)	Medium (0.44)	Low (0.32)
temperature average [°C]	18.5	18.5	18.5
	25.5	25.5	25.5
	33.5	33.5	33.5

ซึ่งเราสามารถคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้จากสูตร

$$TR = (5.707 \cdot 10^{-3})(CMM)(H_r - H_s)$$

โดยที่ CMM = volume flow rate (m³/s)

H_r คือ เอนทาลปีของลมกลับ

H_r, H_s คือ เอนทาลปีของลมจ่าย

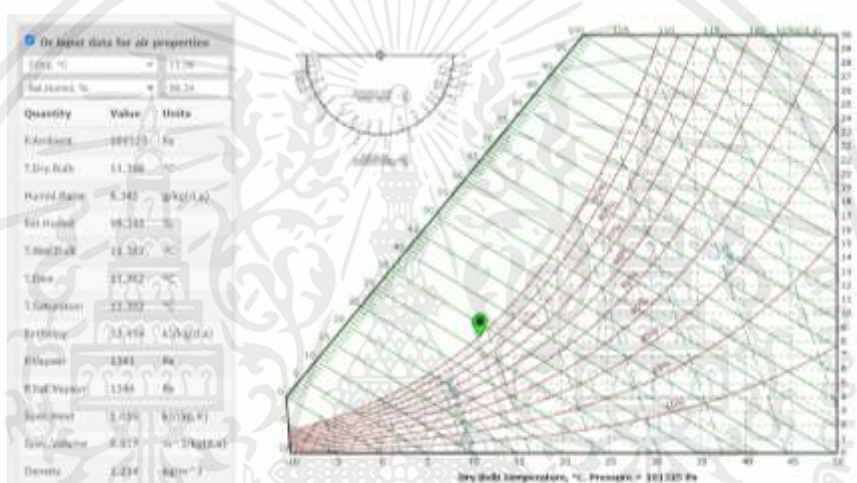
(H_r, H_s) คือ สามารถหาได้จาก

แผนภูมิไซโครเมตริกทางเว็บไซต์นี้ (www.flycarpet.net/en/PsyOnline) โดยที่ไปวัดค่า ลมเข้าและลมออกของเครื่องปรับอากาศภายในห้อง เพื่อไปหาค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ แล้วไปหาค่าเอนทาลปีในขั้นตอนถัดไปเครื่องปรับอากาศขนาด 25000 BTU/h

2) ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิด้านลมจ่าย (25000 BTU/h)

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [°C]	11.36	22.28	11.36
Relative Humidity [%]	99.34	93.92	99.34

อุณหภูมิทางด้านลมจ่าย วัดได้ 11.36 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 99.34 %

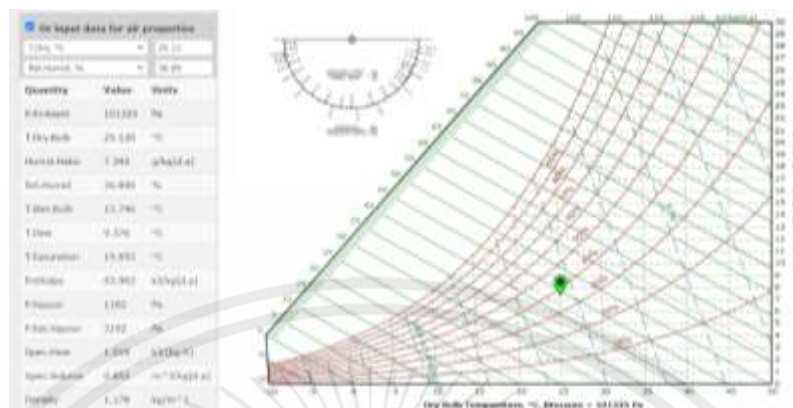


รูปที่ 4.1 แสดงค่า enthalpy ของลมจ่าย

3) ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิด้านลมเข้า (25000 BTU/h)

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [°C]	23.46	25.31	25.12
Relative Humidity [%]	43.82	50.22	36.89

อุณหภูมิต่างด้านลมเข้า วัดได้ 25.12 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 36.89 %



รูปที่ 4.2 แสดงค่า enthalpy ของลมเข้า (25000 BTU/h)

Air flow rate จาก spec air = $31.02 \text{ m}^3 / \text{min}$, $H_r = 49.646 \text{ kJ} / \text{kg}$, $H_s = 31.719 \text{ kJ} / \text{kg}$

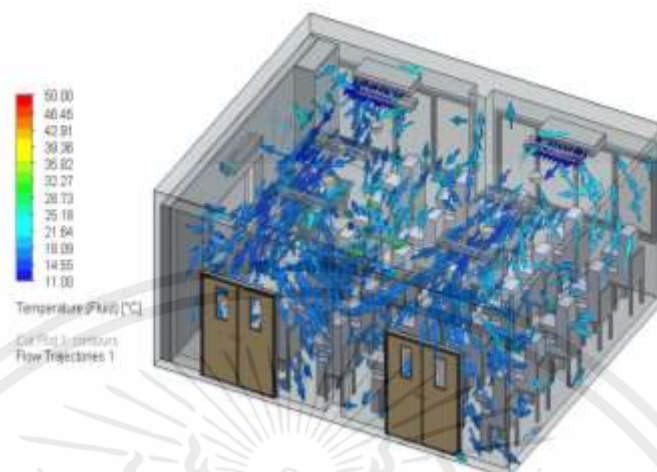
$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } TR &= (5.707 \times 10^{-3}) \times (31.02) \times (43.963 - 32.459) \\ &= 2.0365 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เนื่องจาก } 1TR &= 12000 \text{ BTU} \\ &= 2.0365 \times 12000 \\ &= 24438 \text{ BTU} / \text{h} \end{aligned}$$

จากการทดลองทำให้พบว่า การคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ในการจำลองนั้นมีค่าไม่ตรงกับ BTU ที่แท้จริงของเครื่องปรับอากาศนั้น ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนไปประมาณ 2.248 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

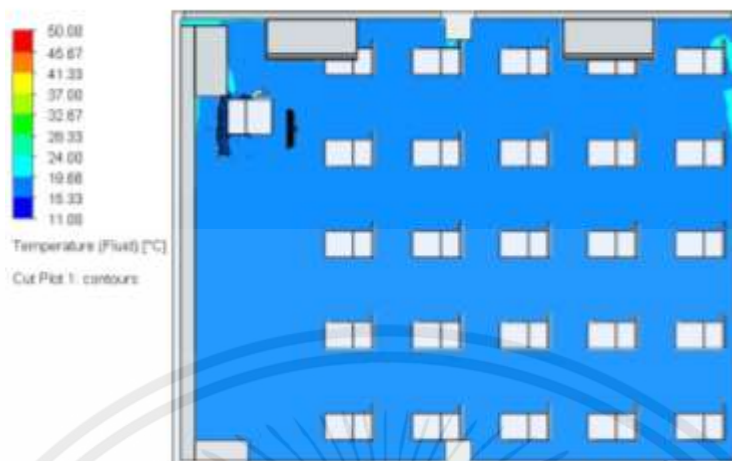


รูปที่ 4.3 แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ $18 \text{ }^\circ\text{C}$ และอัตราการไหล $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$

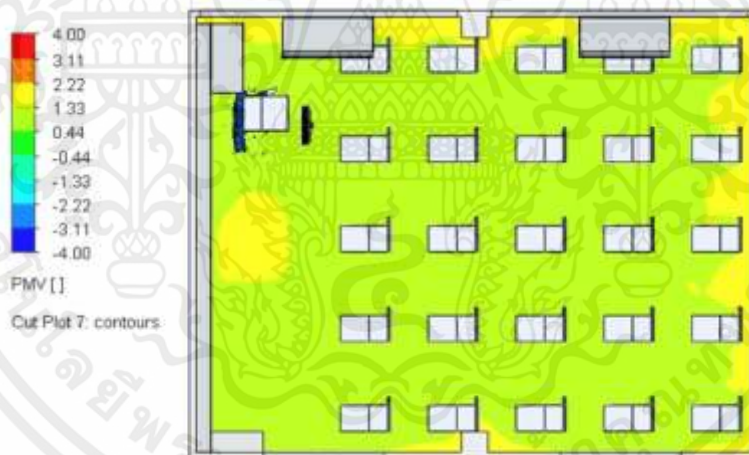
Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [°C]	11.00	50.00	26.92
Relative Humidity [%]	37.68	93.57	65.63
PMV	0.44	1.33	1.12
PPD [%]	12.3	100	56.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

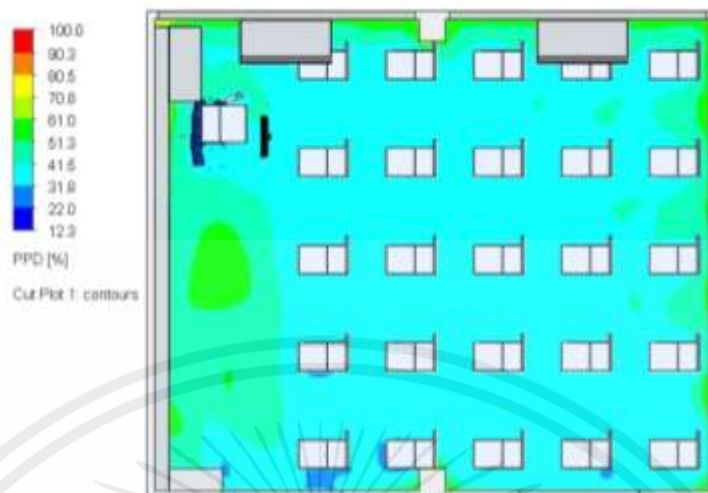
รูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง 15.33 – 19.66 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำเงินอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้



รูปที่ 4.5 แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.5 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV อยู่ในช่วง 0.44 - 1.33 ทำให้ทราบค่า Volume flow rate = 0.52 m³/s ซึ่งอยู่ในช่วงสีเขียวอ่อนส่วนใหญ่อและมีอากาศมีความปกติและความอบอุ่นซึ่งถือว่าเป็นอากาศที่ปกติและทำให้ผู้ใช้อยู่ในสภาวะสบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



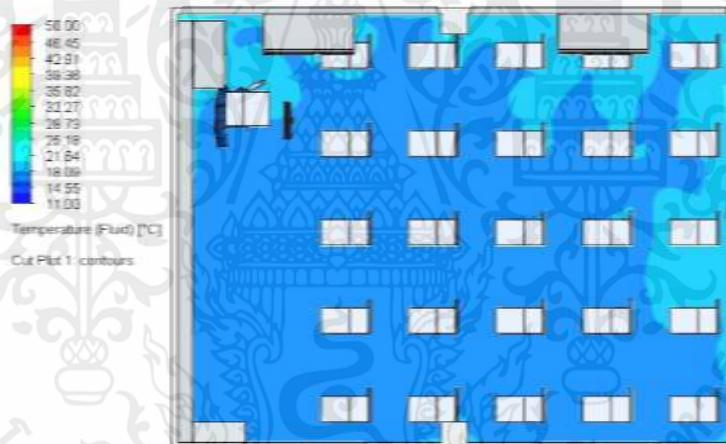
รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 31.8 - 51.3 % เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าบริเวณหน้าห้อง, หลังห้องและใต้เครื่องปรับอากาศจะมีความแตกต่างออกจากบริเวณกลางห้อง บุคคลภายในห้องยังพึงพอใจกับอากาศภายในห้อง

4.1.2 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

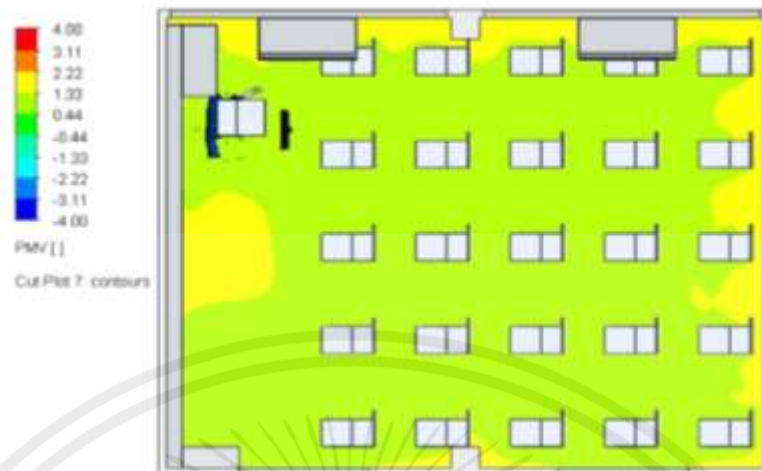
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของอัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^\circ\text{C}$]	11.00	50.00	30.59
Relative Humidity [%]	37.68	93.57	65.62
PMV	0.44	21.64	1.12
PPD [%]	12.9	100	52.7



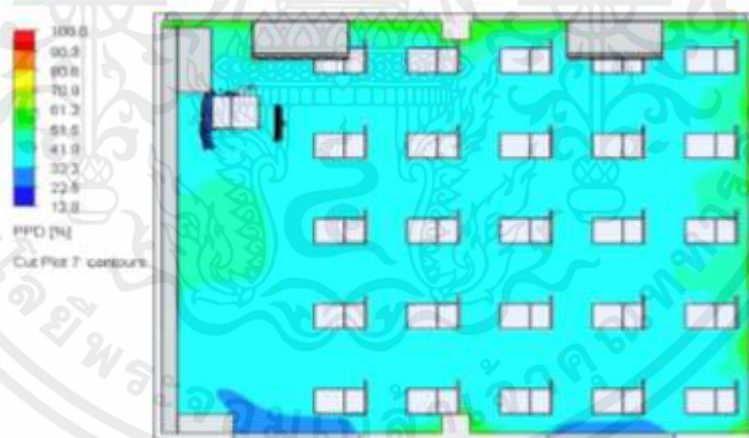
รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง $18.09 - 21.64 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำเงินอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้และอุณหภูมิรอบๆ เริ่มมีสีฟ้าเพราะเกิดจากอัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ลดต่ำลง



รูปที่ 4.8 ค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.8 ค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV 18 องศา ค่า PMV อยู่ในช่วง 0.44 - 1.33 ค่า Volume flow rate = $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งอยู่ในช่วง 0.44 - 2.22 สีเขียวส่วนใหญ่นี้และมีอากาศมีความปกติและความอบอุ่นซึ่งถือว่าเป็นอากาศที่ปกติและทำให้ผู้ใช้อยู่ในสภาวะสบาย



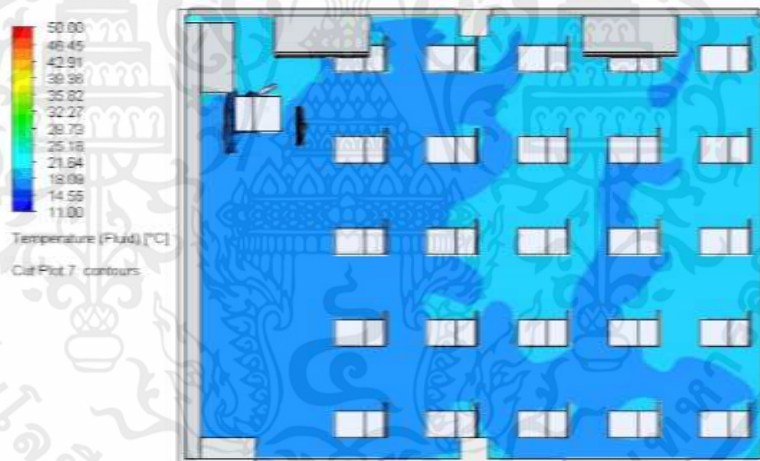
รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่า ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 32.2 - 41.9 % จะเห็นว่าส่วนคนส่วนใหญ่พึงพอใจกับสภาพอากาศและอยู่ในสภาวะสบายภายในห้องยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

4.1.3 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

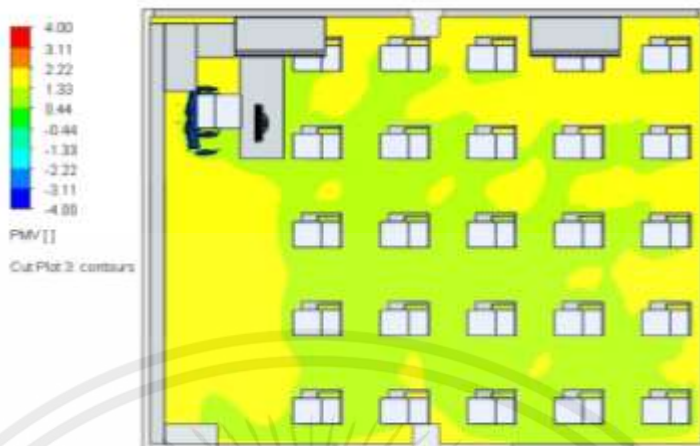
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่า Total Temperature, Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของแสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่ง $18 \text{ }^\circ\text{C}$ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^\circ\text{C}$]	11.00	50.00	28
Relative Humidity [%]	38.31	92.89	65.6
PMV	0.44	2.22	1.55
PPD [%]	32.3	51.6	56.47



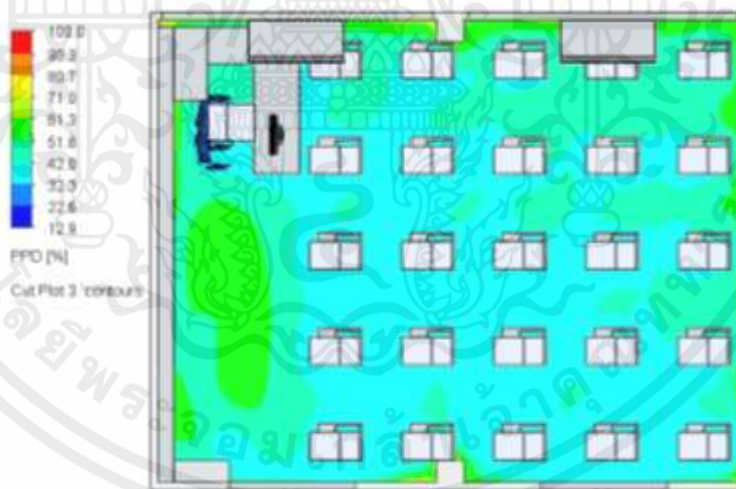
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง $18.09 - 21.64 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำเงินอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้และอุณหภูมิรอบๆ เริ่มมีฟ้าเพราะเกิดจากอัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ลดต่ำลง



รูปที่ 4.11 แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

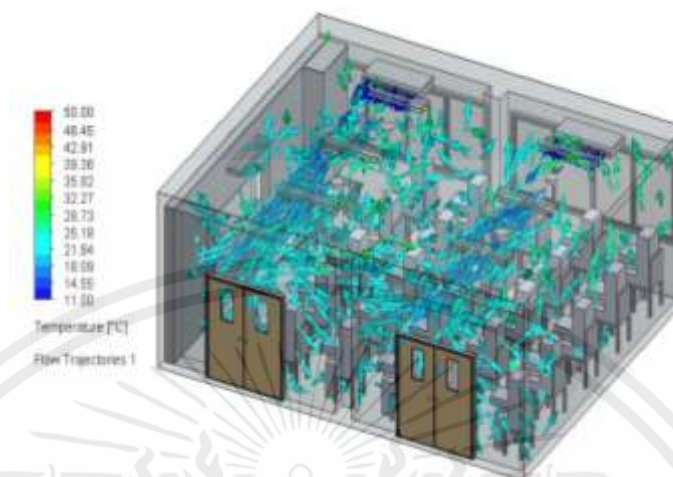
รูปที่ 4.11 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV อยู่ในช่วง 0.44 - 2.22 ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ นั้นค่า PMV อยู่ในช่วงที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองเริ่มขยับเข้ามามากขึ้นอุ่นแต่อากาศยังมีความปกติซึ่งถือว่าเป็นอากาศที่ปกติและทำให้ผู้ใช้อยู่ในสภาวะสบาย



รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 32.3 - 51.6 % จะเห็นว่าส่วนคนส่วนใหญ่ พึงพอใจกับสภาพอากาศและอยู่ในสภาวะสบายภายในห้องยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

4.1.4 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

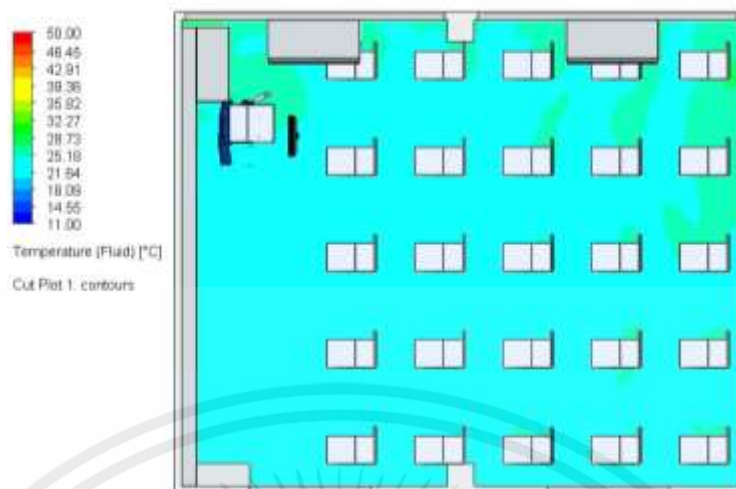


รูปที่ 4.13 แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ และอัตราการไหล $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature ($^\circ\text{C}$)	11.00	50.00	30.42
Relative Humidity (%)	38.62	93.56	66.09
PMV	1.09	2.55	2.36
PPD (%)	13.6	100	53.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



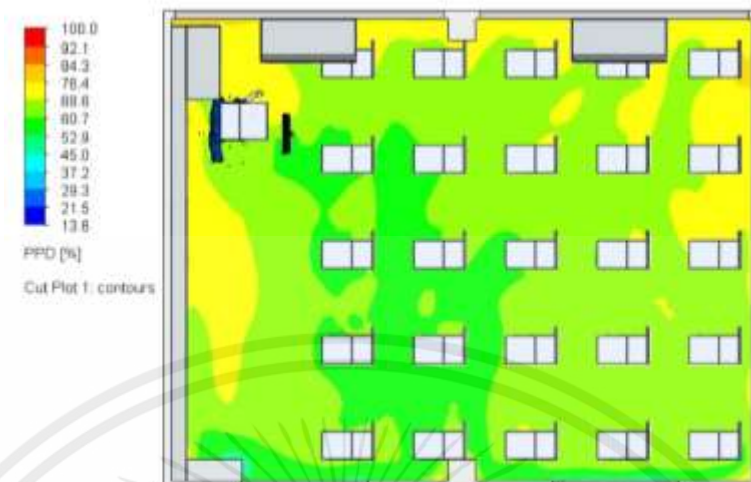
รูปที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง 21.64 – 25.18 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำฟ้าอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิกลางที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้



รูปที่ 4.15 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.15 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV อยู่ในช่วง 1.09 - 1.82 ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = 0.52 m³/s ค่า PMV อยู่ในช่วงสีเหลืองส่วนใหญ่ถือว่ามีความอบอุ่นเย็นเล็กน้อยสามารถยอมรับได้



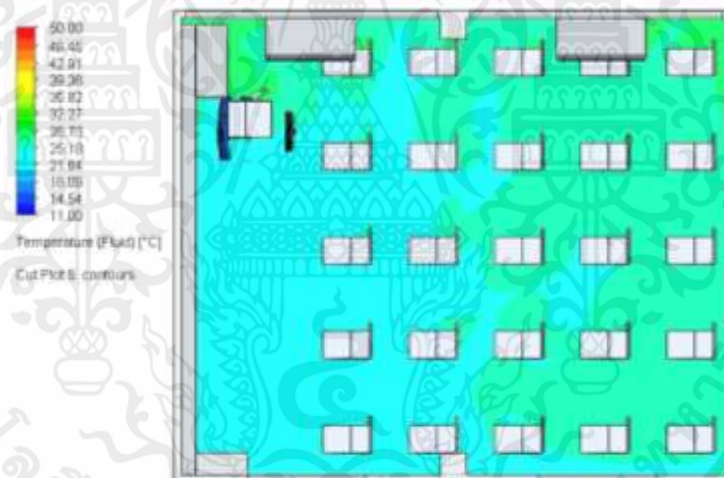
รูปที่ 4.16 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.16 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่า ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 45.0 - 60.6% จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่า PPD ซึ่งถือว่ายังยอมรับได้

4.1.5 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$

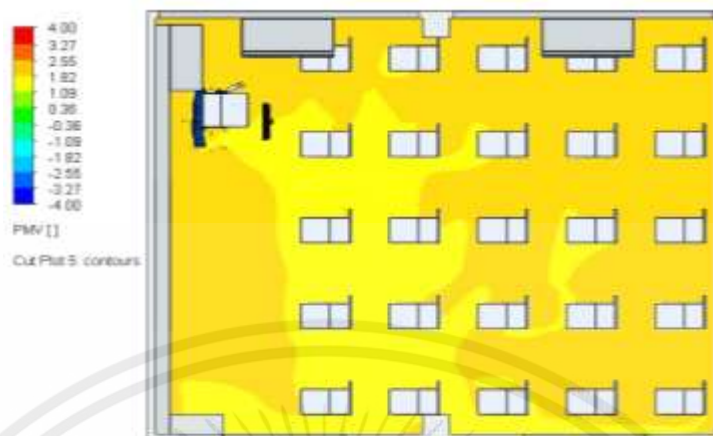
Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^\circ\text{C}$]	11.00	50.00	30.50
Relative Humidity [%]	38.23	92.2	65.21
PMV	1.09	2.55	2.365
PPD [%]	15.1	100	57.52



รูปที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

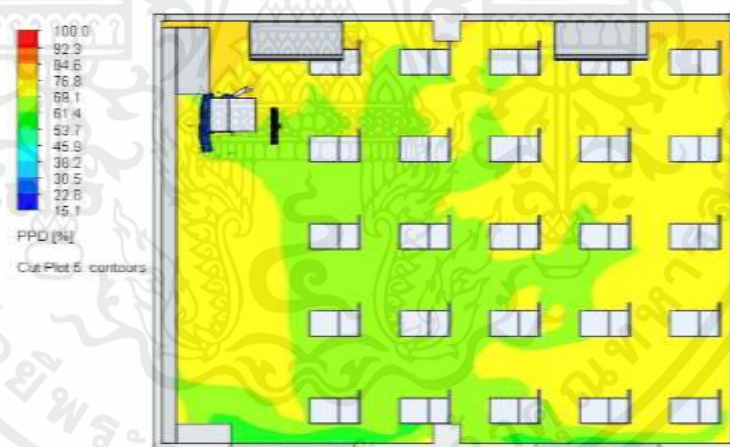
รูปที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง $21.64 - 25.18 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำฟ้าอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิกลางที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้และบริเวณใต้เครื่องปรับอากาศเริ่มมีสีเขียวอ่อน ซึ่งเกิดอัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.18 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV จะอยู่ในช่วง 1.09 - 2.55 °C ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = 0.44 m³/s ค่า PMV ซึ่งอยู่ในช่วง 2.55 สะส่วนใหญ่และค่อนข้างอบอุ่นและไม่เป็นอากาศที่หน้าพึงพอใจ



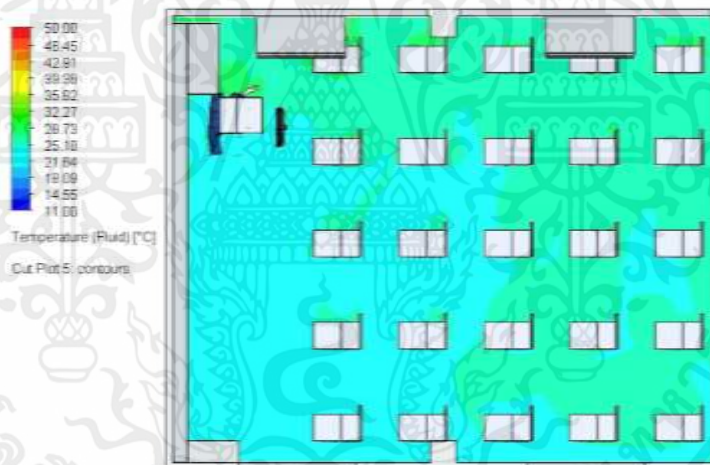
รูปที่ 4.19 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.19 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 61.4 – 76.8% จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่า PPD เพิ่มมากขึ้นเริ่มมีอากาศที่ร้อนมากขึ้นเริ่มมีผู้ไม่พึงพอใจต่อสภาพอากาศภายในห้อง

4.1.6 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (25,000 BTU/h)

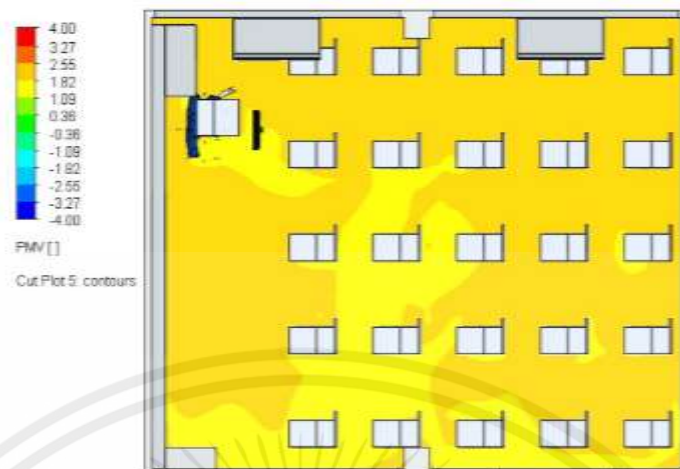
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	11.00	50.00	30.66
Relative Humidity [%]	37.8	92.16	64.98
PMV	1.09	1.82	2.36
PPD [%]	15.5	100	60.25



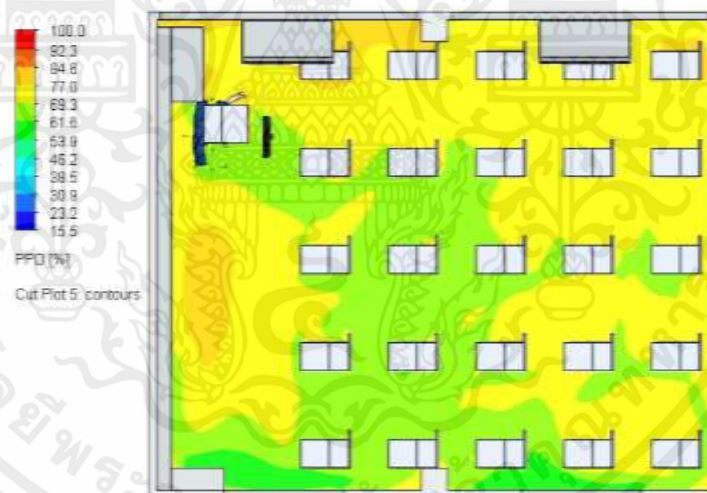
รูปที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง $21.64 - 25.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำฟ้าอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิกลางที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้และบริเวณใต้เครื่องปรับอากาศเริ่มมีสีเขียวอ่อน ซึ่งเกิดอัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ลดต่ำลง



รูปที่ 4.21 แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

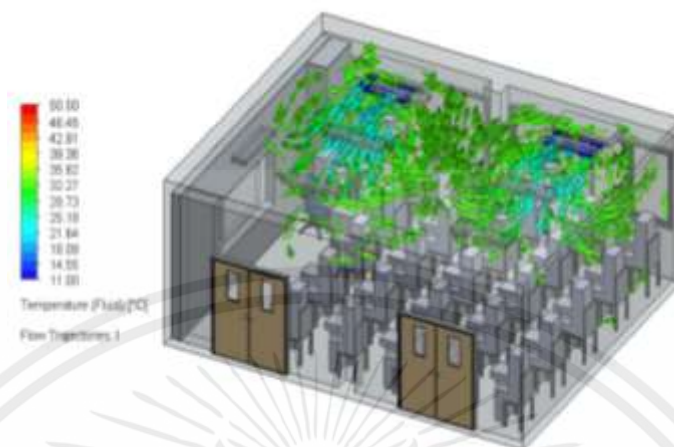
รูปที่ 4.21 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV 25 อยู่ในช่วง 1.82 - 2.55 ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ นั้นค่า PMV ซึ่งมีความอบอุ่นเล็กน้อย



รูปที่ 4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 61.6 - 77.0 % จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่า PPD เพิ่มมากขึ้นเริ่มมีอากาศที่ร้อนมากขึ้น

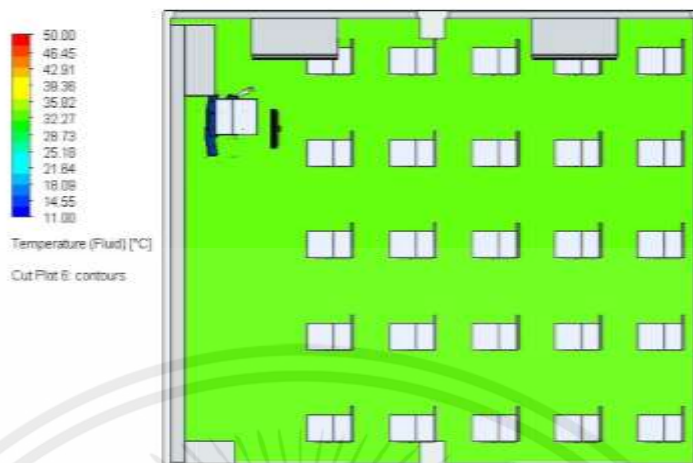
4.1.7 การไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $33 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)



รูปที่ 4.23 แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ $33 \text{ }^\circ\text{C}$ และอัตราการไหล $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$

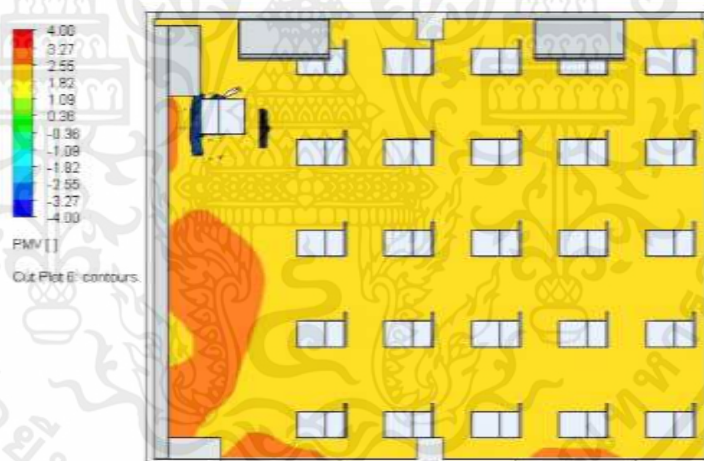
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD[%] ของอัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^\circ\text{C}$]	11.00	50.00	30.51
Relative Humidity [%]	36.4	95.86	69.01
PMV	1.82	2.55	3.46
PPD [%]	17.4	100	58.68



รูปที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง 32.27 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสีเขียวอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้



รูปที่ 4.25 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.25 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV อยู่ในช่วง 1.82 – 2.55 ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = 0.52 m³/s นั้นค่า PMV อยู่ในช่วงซึ่งอยู่ในช่วงสัมพัทธ์ส่วนใหญ่มีความอบอุ่นและร้อนมากเกินไป



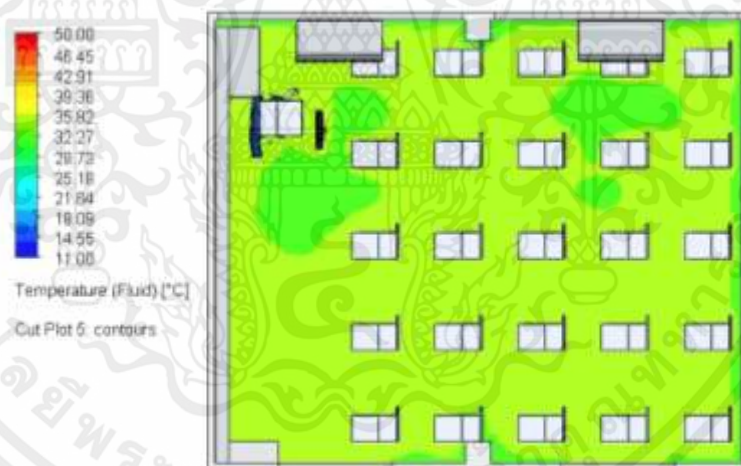
รูปที่ 4.26 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.26 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD อยู่ในช่วง 92.5 - 100.0% จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่า PPD จะเห็นว่าส่วนคนส่วนใหญ่ ไม่พึงพอใจกับสภาพอากาศและอยู่ในสภาวะสบายภายในห้องอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีเพิ่มมากขึ้นเริ่มมีอากาศที่ร้อนมากจนเกินไป

4.1.8 อัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $33 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

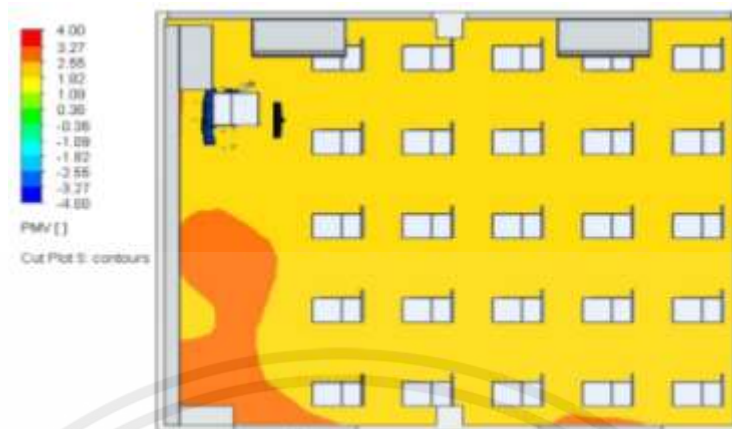
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่า Total Temperature, Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อัตราการไหลอากาศ เท่ากับ $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^\circ\text{C}$]	11.00	50.00	30.5
Relative Humidity [%]	35.82	96.45	66.135
PMV	1.82	2.55	3.46
PPD [%]	17.4	100	58.68



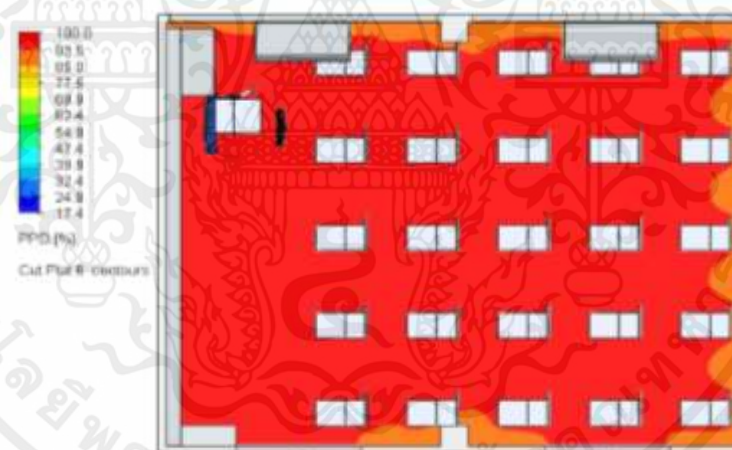
รูปที่ 4.27 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.27 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง 32.27 - $35.82 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสีเขียวและสีเขียวอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ เมื่อความอัตราการไหลภายในห้องลดต่ำลงอุณหภูมิภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.28 แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.28 แสดงค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV อยู่ในช่วง 1.82-2.55 ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ค่า PMV ซึ่งอยู่ในช่วงสีส้มอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีความอบอุ่นและก็ร้อนซึ่งก็ยิ่งถือว่ายังไม่สบายและยังไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ



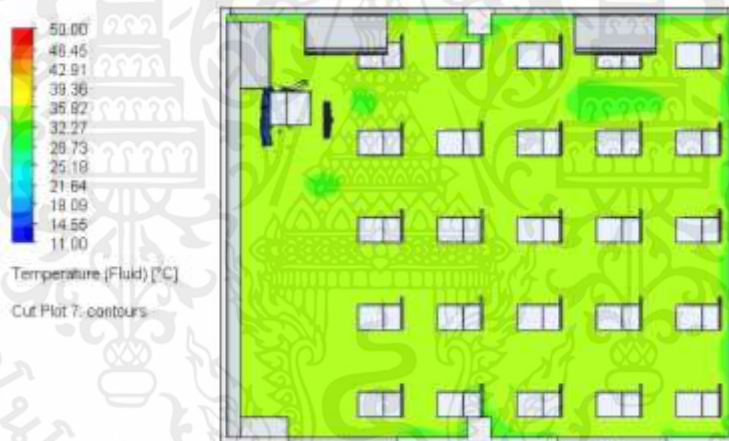
รูปที่ 4.29 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.29 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 77.5 – 100 % จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่า PPD จะเห็นว่าส่วนคนส่วนใหญ่ ไม่พึงพอใจกับสภาพอากาศและอยู่ในสภาวะสบายภายในห้องอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีเพิ่มมากขึ้นเริ่มมีอากาศที่ร้อนมากจนเกินไป

4.1.9 แสดงอัตราการไหลของอากาศภายในห้องที่ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $33 \text{ }^\circ\text{C}$ (25,000 BTU/h)

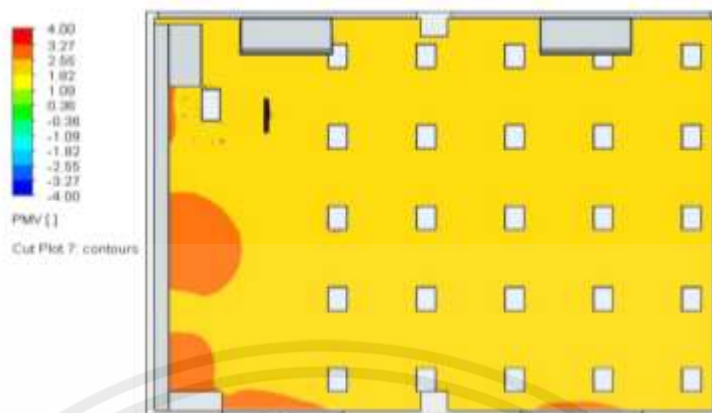
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่า Total Temperature , Relative Humidity [%], PMV, PPD [%] ของ อุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่ง $33 \text{ }^\circ\text{C}$ $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average
Total Temperature [$^\circ\text{C}$]	11.00	50.00	30.51
Relative Humidity [%]	34.56	97.52	66.04
PMV	1.82	2.55	3.46
PPD [%]	17.3	100	60.38



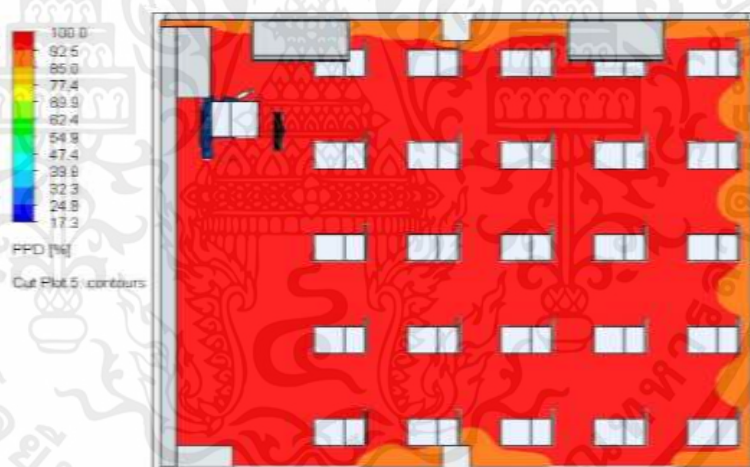
รูปที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิบริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในภายในห้อง อยู่ในช่วง 32.27 - $35.82 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสีเขียวและสีเขียวอ่อนซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ เมื่อ ความอัตราการไหลภายในห้องลดต่ำลงอุณหภูมิภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.31 แสดงค่า PMV บริเวณนักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.31 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PMV บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PMV จะอยู่ในช่วง 2.55 – 1.82 ทำให้ทราบว่า Volume flow rate = $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ จากในรูปจะเห็นได้ว่าค่า PMV จะอยู่ในช่วงสีส้มอ่อนที่มีความอบอุ่นและมีอากาศที่ร้อนเกินไป



รูปที่ 4.32 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งภายในห้อง

รูปที่ 4.32 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์นั่งอยู่บนเก้าอี้ภายในห้อง แสดงให้เห็นว่าค่า PPD บริเวณที่นักศึกษาและอาจารย์อยู่ในช่วง 92.5 - 100.0% จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่า PPD จะเห็นว่าส่วนคนส่วนใหญ่ ไม่พึงพอใจกับสภาพอากาศและอยู่ในสภาวะสบายภายในห้องอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีเพิ่มมากขึ้นเริ่มมีอากาศที่ร้อนมากจนเกินไป

บทที่ 5

สรุปและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

สำหรับการศึกษาค่าสบายตัวทางความร้อน (PMV,PPD) ครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการศึกษาปัจจัยและการวิเคราะห์ค่าสบายตัวทางความร้อน (PMV,PPD) ภายในห้องปรับอากาศที่อยู่สถานะคงที่ 18 °C, 25 °C และ 33 °C โดยอัตราการไหลของอากาศที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องปรับอากาศที่ 0.52 , 0.44 และ 0.32 m³/s พบว่าอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ถูกปล่อยจากเครื่องปรับอากาศที่ทำให้ผู้ทำงานภายในห้องได้รับค่าสะดวกสบายทางความร้อนที่ดีที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 18 °C ค่าความเร็วลมที่ 0.44 m³/s ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50% ค่าสบายตัวทางความร้อนภายในห้องอยู่ที่ (PMV > -0.42 / PPD > 31.2%) มีความรู้สึกต่อในสภาวะความสบาย ในระดับ “รู้สึกสบายมาก” และพบว่าอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ถูกปล่อยจากเครื่องปรับอากาศที่ทำให้ผู้ทำงานภายในห้องได้รับค่าสะดวกสบายทางความร้อนที่แย่ที่สุด อยู่ที่ อุณหภูมิ 33 ค่าความเร็วลมที่ 0.32 m³/s ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 40% ค่าสบายตัวทางความร้อนภายในห้องอยู่ที่ (PMV > 2.55 / PPD > 84.8%) มีความรู้สึกต่อในสภาวะความสบาย ในระดับ “รู้สึกไม่สบายตัวมากที่สุด” และการวิเคราะห์ค่าสบายตัวทางความร้อนนี้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศและเฟอร์นิเจอร์ภายในห้องได้

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

5.2.1 มีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลองนี้ได้คือ อุณหภูมิ ความเร็วของอากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรใช้อุปกรณ์เฉพาะทางที่มีความแม่นยำที่สูงที่การเก็บผลและทดลอง

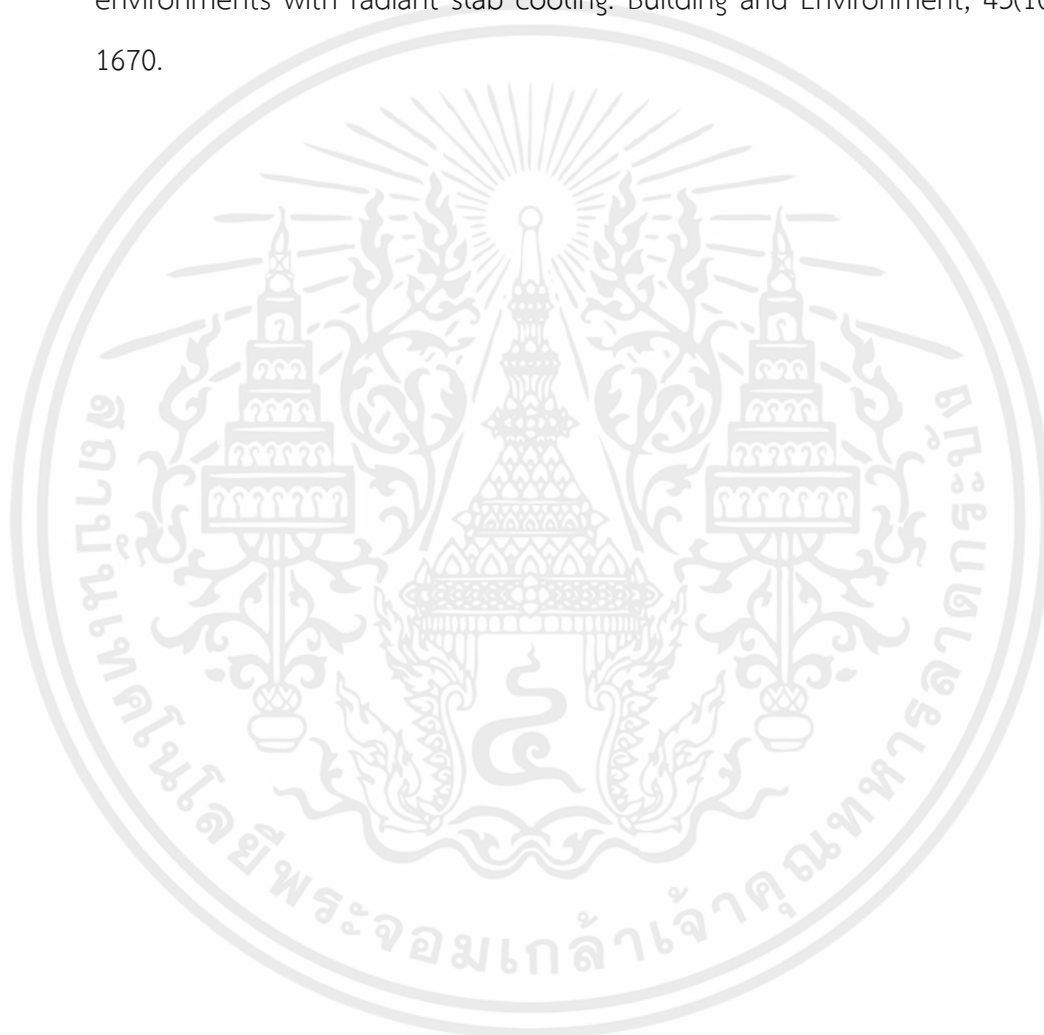
5.3.2 ควรใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการคำนวณที่เฉพาะทาง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สิทธิชัย, & ฝรั่ง ทอง. (2018) แนวทางการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพพลังงานสูงในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลและการระบายอากาศ
- [2] Fang, G., Zeng, P., & Lou, L. (2002). Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process. *Journal of Materials Processing Technology*, 122(2-3), 249-254
- [3] เศรษฐา กลางชาติ (2552) “การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและการไหล” 48-54
- [4] สิทธิกันต์ นุ่นหนู (2551) “การจำลองสนามการไหลของอนุภาคของไหลภายในเครื่องแยกละอองแบบแผ่นคลื่น” 29-34
- [5] ภาควงศ์ ศรีธรรมรัตน์, & สมชาย วงศ์วิเศษ (2004). การทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลปั่นป่วนในท่อในช่วงเลขเรย์โนลด์ต่ำโดยใช้ $k-\epsilon$ model. *Engineering Journal of Research and Development*, 15(1), 59-66.
- [6] Prakash, D., & Ravikumar, P. (2015). Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 42-57.
- [7] Buonocore, C., De Vecchi, R., Scalco, V., & Lamberts, R. (2020). Thermal preference and comfort assessment in air conditioned and naturally ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil. *Energy and Buildings*, 211, 109783
- [8] กิจชัย จิตขจรวานิช. (2020). สภาวะสบายและการปรับตัวเพื่ออยู่แบบสบายของคนในห้องถิ่น = Thermal comfort and adaptability to living for local people.
- [9] Oseland, N., & Donald, I. (1993). The evaluation of space in homes: A facet study. *Journal of environmental psychology*, 13(3), 251-261.

- [10] Rumana, R. A. S. H. I. D., & Ahmed, M. H. B. (2013). the Comparison between the Thermal Performance of a Contemporary House and Traditional House in the Dense Dhaka City in Bangladesh. DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment), 40(1), 11-18.
- [11] THERMALANALYSIS [Online]. www.solidwork.com
- [12] Auliciems, A., & Szokolay, S.V. (1997). Thermal comfort. sl: PLEA.
- [13] Boonyatikarn, S., & Chindawanik, T. (1993). การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย [An evaluation of thermal comfort and related variables in Thai architecture].
- [14] Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H.B., & Brager, G.S. (2014). Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. Building and Environment, 74, 39-53.
- [15] Olgyay, V. (1967). Bioclimatic orientation method for buildings. International Journal of Biometeorology, 11(2), 163-174.
- [16] Victor, O. (1963). Design with climate. Climate Responsive Building.
- [17] Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
- [18] Olesen, B. W., & Brager, G. S. (2004). A better way to predict comfort: The new ASHRAE standard 55-2004.
- [19] Moran, M. J., Shapiro, H. N., Munson, B. R., & DeWitt, D. P. (2002). Introduction to thermal systems engineering: thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer. John Wiley & Sons.

- [20] เอก รงค์, & สุข จิต. การ ศึกษาเชิงตัวเลขของผลกระทบของความปั่นป่วนต่อพฤติกรรมของการไหลของอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้น และ ฝุ่นละอองภายในห้องสะอาด (Doctoral dissertation) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).
- [21] Tian, Z., & Love, J. A. (2008). A field study of occupant thermal comfort and thermal environments with radiant slab cooling. *Building and Environment*, 43(10), 1658-1670.

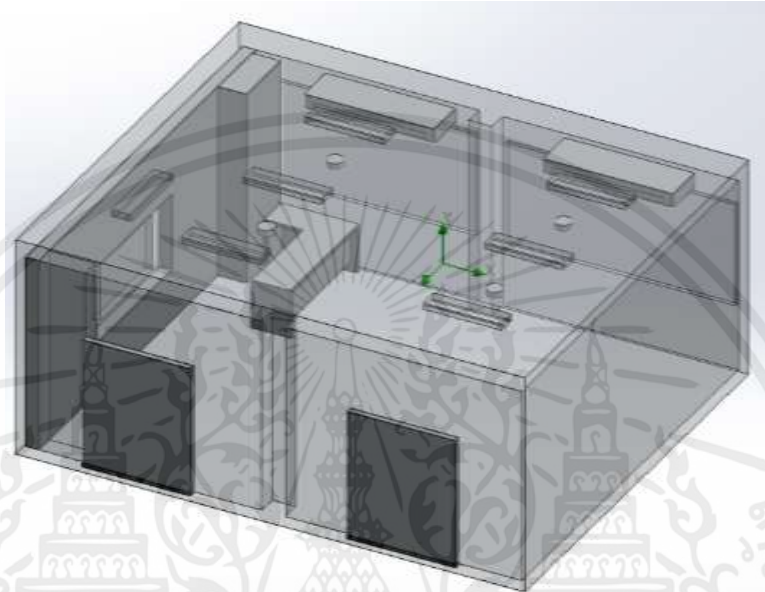




ภาคผนวก ก
การป้อนข้อมูลโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2020
เพื่อการจำลองสถานการณ์

1. การสร้างพื้นที่จำลอง

สร้างขอบเขตแผนผังพื้นที่การจำลองด้วยเครื่องมือ Sketch บน Top Plane ตามขนาดที่ต้องการ และ Extrude เพื่อสร้างพื้นที่ห้อง ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ ค.1 แบบจำลองห้องที่ออกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS ขนาด 44 m²

2. การกำหนดค่าเริ่มต้นแบบ Wizard

สร้างโปรเจคใหม่ โดยใช้คำสั่ง Wizard ไปที่แถบ Flow Simulation เลือก Wizard



รูปที่ ค.2 แสดงตำแหน่งคำสั่ง Wizard

3. เริ่มสร้างโปรเจคใหม่

ช่อง Project name ป้อนชื่อ Project1

ช่อง Configuration เลือก Create New

ช่อง Configuration name เลือก Project1

คลิกปุ่ม Next >



รูปที่ ค.3 หน้าต่าง Wizard

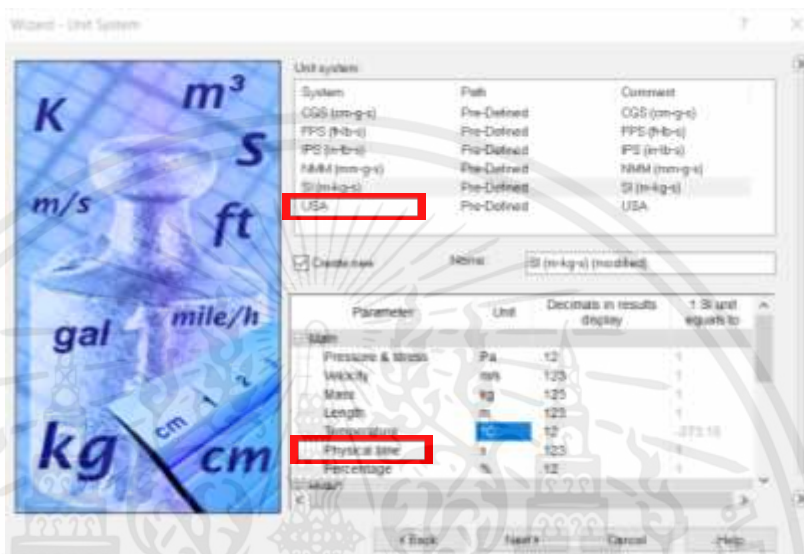
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เลือกหน่วยที่ใช้

ช่อง Unit system เลือก SI (m-kg-s)

เปลี่ยนหน่วย Temperature เป็น (°C)

คลิก Next >



รูปที่ ค.4 หน้าต่างการเลือกหน่วยที่ใช้

การเลือกใช้หน่วยในการวิเคราะห์ควรเลือกหน่วยที่เราเลือกใช้เพื่อให้เหมาะแก่การป้อนข้อมูล และการอ่านผลเฉลย

5. เลือกประเภทการวิเคราะห์

ช่อง Analysis type เลือก Internal

เลือก Heat conduction in solids

เลือก Gravity

คลิกปุ่ม Next



รูปที่ ค.5 หน้าต่างการเลือกประเภทการวิเคราะห์

เลือก Internal เพราะต้องการคำนวณใน รูปทรงแบบปิดเท่านั้น

เลือก Heat conduction in solids เพราะต้องการคำนวณทั้งการพาความร้อน ของไหล และการนำความร้อนในห้องแบบปิด

เลือก Gravity เพื่อกำหนดให้มีการคำนวณเนื่องด้วยแรงโน้มถ่วงด้วย

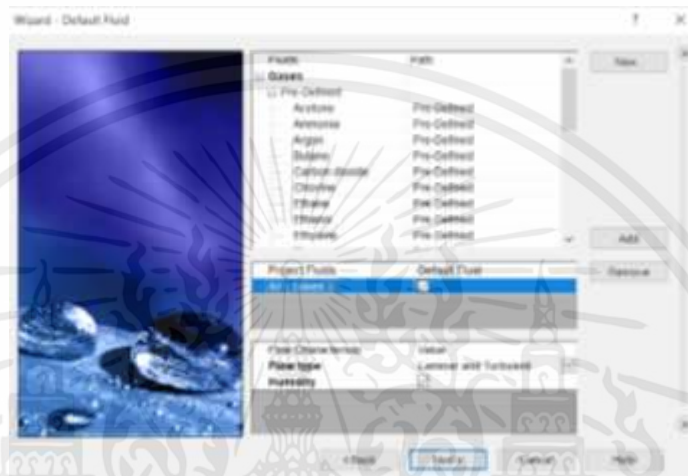
6. เลือกชนิดของของไหล

ช่อง Fluids เลือก Gases

เลือก Air คลิกปุ่ม Add

เลือก Humidity

คลิกปุ่ม Next



รูปที่ ค.6 หน้าต่างการเลือกชนิดของไหลที่ใช้

7. เลือกชนิดของของแข็ง

ช่อง Solids เลือก Building materials

เลือก Brick and Block และเลือก Concrete block

คลิกปุ่ม Next >



รูปที่ ค.7 หน้าต่างการเลือกชนิดของแข็งที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ตั้งค่าผนังและความเรียบ

ช่อง Parameter

Default thermal condition เลือก Adiabatic wall

Roughness เลือก 0 micrometer

คลิกปุ่ม Next >



รูปที่ ค.8 หน้าต่างตั้งค่าผนังและความเรียบ

Adiabatic wall คือ ผนังของชิ้นงานมีการหุ้มฉนวนอย่างดีไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างผ่านผนังชิ้นงาน

Roughness คือ การกำหนดความขรุขระของชิ้นงาน

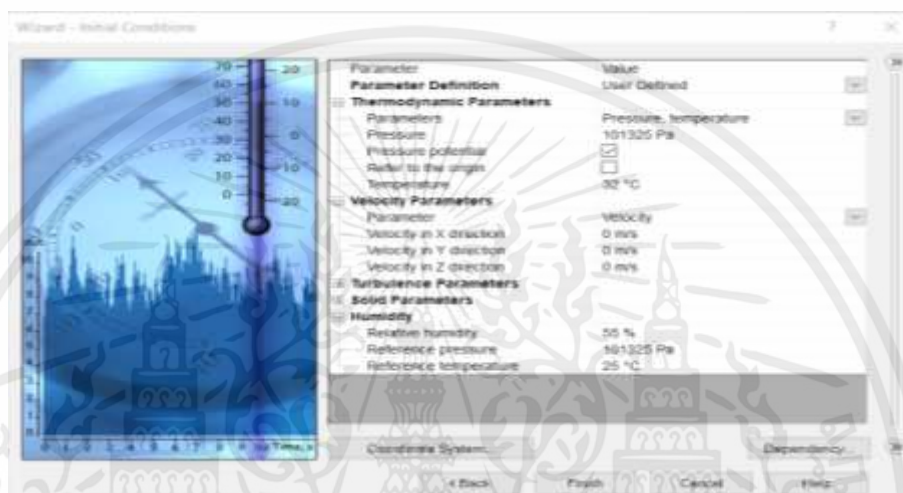
9. ตั้งค่าข้อมูลเริ่มต้น

เปลี่ยน Temperature เป็น 33 °C

กำหนดในช่อง Humidity ให้ Reference Temperature = 25 °C

Relative Humidity = 40 %

คลิกปุ่ม Finish ถือว่าเสร็จสิ้นการตั้งค่า Wizard

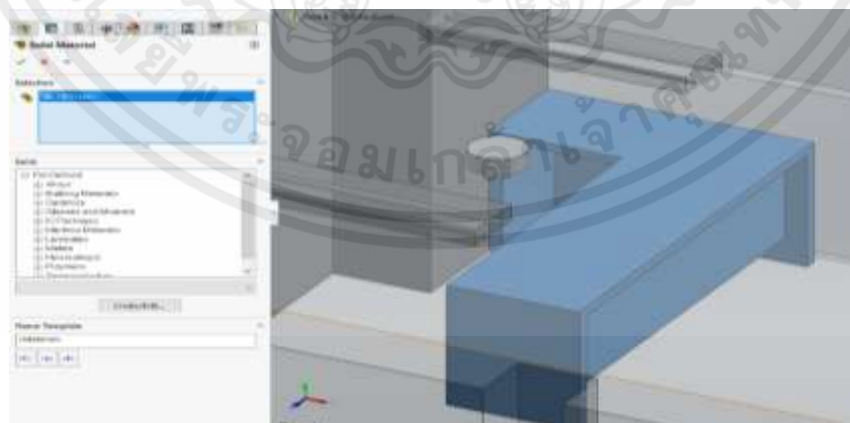


รูปที่ ค.9 หน้าต่างตั้งค่าข้อมูลเริ่มต้น

10. ตั้งค่าวัสดุ

ช่อง Selection เลือก วัสดุที่ต้องการกำหนด

ช่อง Solid เลือกชนิดวัสดุที่ต้องการกำหนดว่าเป็นวัสดุชนิดใด



รูปที่ ค.10 หน้าต่างการกำหนดชนิดวัสดุในห้องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. กำหนดช่องปล่อยลมภายในห้อง

คลิกขวาที่ Fan เลือก Insert Boundary Conditions

ช่อง Type เลือกชนิด Inlet Volume Flow

ช่อง Selection เลือก พื้นที่ที่ต้องการให้ลมมีทิศทางออก

ช่อง Flow Parameters กำหนดค่า Volume Flow Rate (Q) ตามลำดับดังนี้

1) 1.1 high = $0.299 \text{ m}^3/\text{s}$, 1.2 Medium = $0.2534 \text{ m}^3/\text{s}$, 1.3 Low = $0.2081 \text{ m}^3/\text{s}$ (ที่ใช้ Volume flow rate เท่านั้นเพราะเทียบจากสเปคแอร์ Trane รุ่น TTK524LB5)

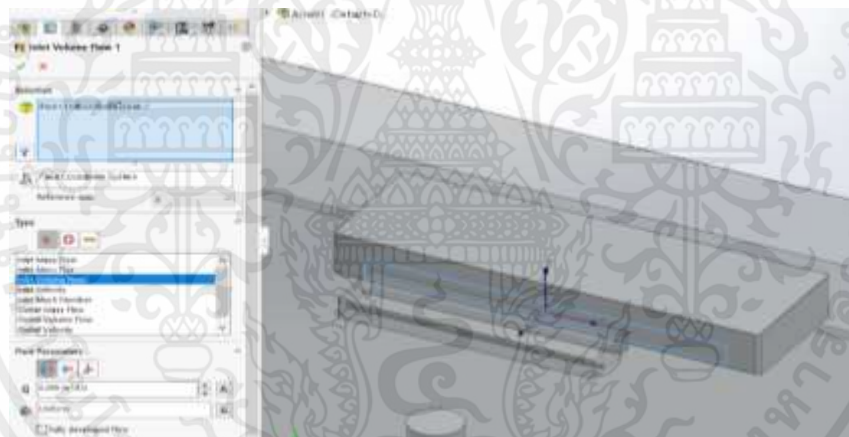
ช่อง Thermodynamic Parameters

กำหนดอุณหภูมิบริเวณที่ปล่อยลมออก $T = 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$

กำหนด Humidity Parameters ความชื้นสัมพัทธ์ = 99% , อุณหภูมิที่อ้างอิง

กับความชื้นสัมพัทธ์ = 11°C

จากนั้น ตีคเครื่องหมายถูกสีเขียว



รูปที่ ค.11 หน้าต่างการกำหนด Inlet Volume Flow

13. กำหนด Heat Generation rate ให้กับคน และเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้อง

คลิกขวาที่ Heat source เลือก Insert Volume source

ใส่ค่า Heat Generation rate ของแต่ละเครื่องใช้ไฟฟ้าลงไป

ใส่ค่า Heat Generation rate ของคนไป = 60 W/m^3

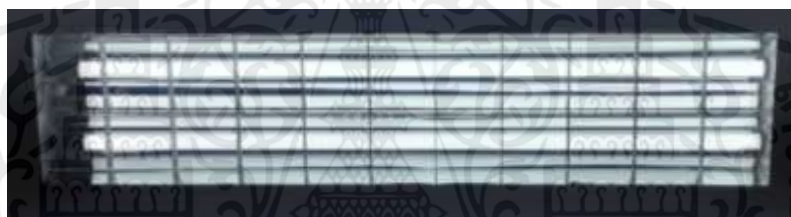
ช่อง Selection เลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กำหนด

อุปกรณ์ใช้ในการกำหนดค่า อ้างอิงมาจากค่าตามจริงในแต่ละชนิด คือ

หลอดไฟนีออน ED TUBE T8 PERFECT ECO 36W/54 Daylight

โทรทัศน์ Pro Vision Smart TV ขนาด 65 in รุ่น DSP K6500U

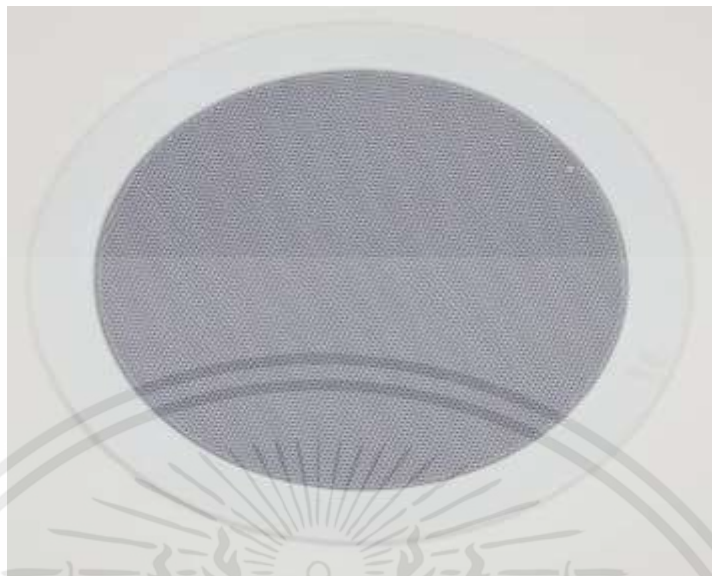
TOA PC-2852 ลำโพงฝังฝ้าเพดาน 8 in 70/100 W



รูปที่ ค.12 หลอดไฟ ED TUBE T8 PERFECT ECO 36 W/54



รูปที่ ค.13 โทรทัศน์ Provision Smart TV ขนาด 65 in รุ่น DSP K6500U 200 W



รูปที่ ค.14 TOA PC-2852 ลำโพงฝังฝ้าเพดาน 8 in 70/100 W

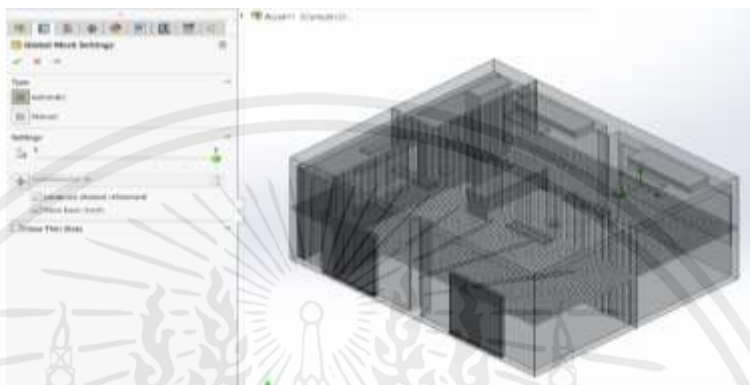


รูปที่ ค.15 dell รุ่น OptiPlex 24 7000 Series All-in-One (7440)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. การกำหนดค่าความละเอียดของ Mesh ในการคำนวณ

- คลิกขวาที่ Mesh เลือก Insert Global Mesh
- ช่องที่ Starting กำหนดความละเอียดของ Mesh
- คลิก OK



รูปที่ ค.16 การกำหนดค่าความละเอียดของ Mesh ที่ใช้ในการคำนวณ

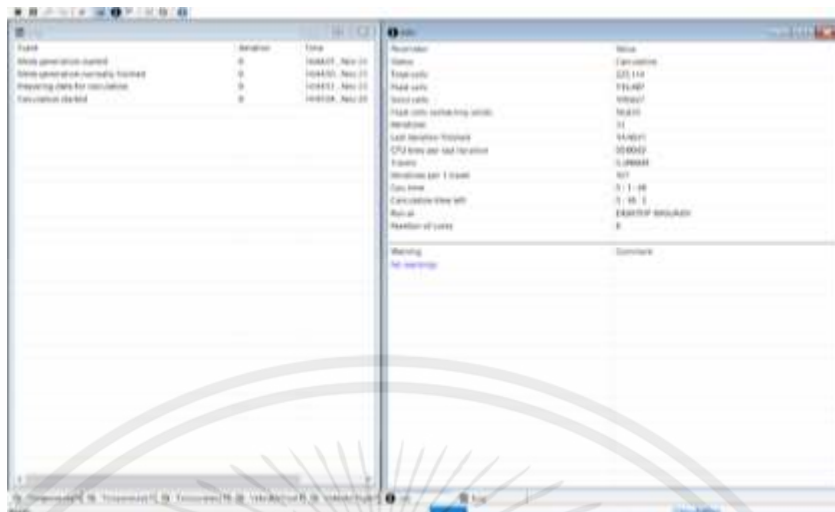
15. การประมวลผล

จากขั้นตอนดังกล่าวเมื่อเรากำหนดค่า Parameter และ Insert คำสั่งต่าง ๆ แล้ว กดที่ Run

ติ๊กถูกที่ Solve > New calculation > Run



รูปที่ ค.17 แสดงตำแหน่ง Run



รูปที่ ค.18 หน้าต่างกำหนดการคำนวณผลเฉลย

16. โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าที่ป้อนไปทั้งหมดและทำการแสดงผล เมื่อโปรแกรมคำนวณการไหลของอากาศแล้ว เลือกกำหนดการแสดงผลค่าของสถานการณ์การจำลองจากโดยมีรูปแบบ

Mesh แสดงผลแบบช่องตาราง

Cut Plot แสดงผลแบบการกำหนดช่วงตัดเอง

Surface Plot แสดงผลแบบการเลือกแต่ละพื้นผิวของชิ้นงาน

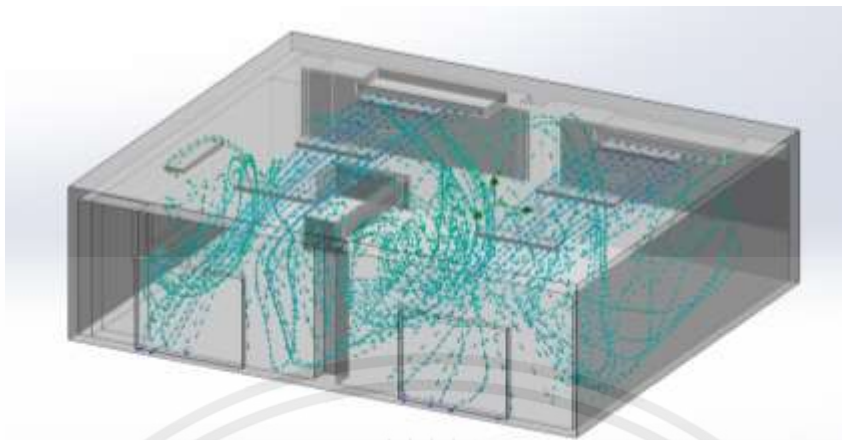
Isosurface แสดงผลแบบภาพก่อนสามมิติบนพื้นผิวที่เลือก

Flow Trajectory แสดงผลแบบการกำหนดรูปแบบการไหลของพื้นที่ทั้งชิ้นงาน

Particle Study แสดงผลเพิ่มเติมในส่วนของอนุภาคภายในที่ต้องการแสดง

Point Parameter แสดงผลแบบการเลือกเฉพาะในตำแหน่งที่ต้องการในพื้นที่

เลือกแสดงค่าเพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในขอบเขตการจำลองสถานการณ์ตามแถบเครื่องมือเป็น ลักษณะของลูกศรเพื่อแสดงค่าของระดับความเร็วลมตามแถบระดับสีต่างๆ ซึ่งภาพสามารถแสดงได้ทั้งภาพ 3 มิติภาพแนวตั้ง และภาพด้านข้าง ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ ค.19 แสดงทิศทางการอัตราการไหลของอากาศ ในห้องขนาด 44 m^3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายมกรา วรกุล
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
 ที่อยู่ 41 หมู่ที่ 5 ตำบลหัวไผ่ อำเภอมหาราช
 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13150
 E-mail 60512089@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต)
 ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนมหาราช(ประชานิมิต)
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จาก
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายอัครมัญกร คำคง
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดปัตตานี
 ที่อยู่ 1/134 หมู่ที่ 1 ตำบลรูสะมิแล ถ.เจริญ
 ประดิษฐ์ ซ.11 อำเภอเมือง จังหวัด
 ปัตตานี 94000
 E-mail 60512108@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนเคหะปัตตานยานุกูล
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร