การลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ กรณีศึกษา : อาคารบ้านแถวชั้นเดียวในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

ROOM TEMPERATURE REDUCTION OF ONE-STORY BUILDING BY ATTIC VENTILATION USING FORCED CONVECTION, CASE STUDY: A ONE-STORY BUILDING IN PHIMAI, NAKHON RATCHASIMA

พชร เย็นใจ

PACHARA YENJAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AR-M-002-033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROOM TEMPERATURE OF ONE-STORY BUILDING BY ATTIC VENTILATION USING FORCED CONVECTION,
CASE STUDY: A ONE-STORY BUILDING IN PHIMAI, NAKHON RATCHASIMA

PACHARA YENJAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF ARCHITECTURE, ART, AND DESIGN
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2022

KMITL-2022-AR-M-002-033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF ARCHITECTURE, ART, AND DESIGN

KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับกรณีศึกษา : อาคารบ้านแถวชั้นเดียวในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา
นักศึกษา	นายพชร เย็นใจ
รหัสประจำตัว	64602033
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศ.สุพัฒน์ บุญยฤทธิกิจ

บทคัดย่อ

จากทฤษฎีการทำความเย็นโดยการพาความร้อนผ่านการดึงอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศภายในพื้นที่ใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่านั้นสามารถลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวซึ่งได้รับผลกระทบจากความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงผ่านหลังคาได้ ได้ทำการทดลองในอาคารกรณีศึกษาร่วมกับออกแบบระบบระบายอากาศผ่านการใช้พัดลมระบายอากาศแบบดูดออกทางฝ้าชายคา ติดตั้งกับระบบท่อ ฮูด และช่องเปิดอากาศซึ่งติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อกำหนดทิศทางการไหลไม่ให้เกิดการลัดวงจรการระบายอากาศ การทดลองนี้เป็นการศึกษาการลดลงของอุณหภูมิอากาศด้วยการพาความร้อนแบบบังคับหลังติดตั้งระบบ โดยศึกษาด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations ที่สภาวะสมดุล (Steady State) จากการศึกษา ได้รูปแบบโมเดลที่ลดความร้อนในอาคารได้มากที่สุด และสามารถติดตั้งในพื้นที่จริงได้อย่างเหมาะสมโดยใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 4 นิ้ว อัตราการไหลเชิงปริมาตร 236 CFM ร่วมกับฮูดแบบเปิดสองทาง และท่อระบายอากาศอลูมิเนียมฟอยด์ขนาด 4 นิ้ว ช่องเปิดหรือฝ้าระบายอากาศที่มีพื้นที่ระบายอากาศ 730 ตร.ซม. จากการทดสอบโมเดลจากการติดตั้งระบบในพื้นที่จริงสามารถลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องได้ 1.09°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเหนือฝ้าเพดานลดลง 2.62 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณใต้สันหลังคาลดลง 2.84°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: การพาความร้อนแบบบังคับ การลดอุณหภูมิ อาคารชั้นเดียว การระบายอากาศใต้หลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Room Temperature Reduction of One-story Building by Attic Ventilation Using Force Convection, Case Study: A One-story Building in Phimai, Nakhon Ratchisima
Student	Mister Pachara Yenjai
Student ID	64602033
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architecture
Year	2022
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Rungroj Wongmahasiri
Coordinate Thesis Advisor	Prof. Suphat Bunyarittikit

ABSTRACT

From the convection cooling theory, drawing in cooler outdoor air to replace the warmer attic air can reduce the temperature in a one-story building that is affected by the heat from the sun directly through the roof. This study was conducted at case study building with the ventilation system: attic exhaust fan through the eaves, air duct, hood, and air vent to determine the flow direction and prevented ventilation short-circuiting. To study the reduction of air temperature after the ventilation system installation, the study was simulated by SolidWorks Flow Simulation at steady state. The simulation model that can reduce temperature in the building the most and can be optimally installed is using a 4-inch with 236 CFM exhausted fan, two-way open hood, a 4-inch aluminum foil air duct, and 730 sq.cm. air vent. After testing the ventilation system with the case study building: the mean air temperature in the room decreased by 1.09 °C with a statistical significance, the mean air temperature above the ceiling decreased by 2.62 °C with a statistically significant, and the mean air temperature under the roof ridge decreased by 2.84 °C with a statistically significant.

Keyword: Force Convection, Temperature Reduction, One-story Building, Attic Ventilation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการสถาปัตยกรรมเขตร้อน ซึ่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ศ.สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และประธานหลักสูตร ที่ได้ให้ความรู้ด้านการทำงาน การสืบค้นข้อมูล การคำนวณข้อมูล ให้คำปรึกษาเพื่อสร้างระบบการคิดวางแผนการทำงานตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.วิวัฒน์ เตมียพันธ์ และ ผศ.โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล ผู้ทรงคุณวุฒิในฐานะคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำเพื่อแก้ไข และปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนเจ้าหน้าที่ และผู้เกี่ยวข้องในมหาลัยทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ

ขอกราบขอบคุณครอบครัว ญาติมิตร และคนสนิท ที่ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ รวมถึงการอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดลองวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะบิดาของข้าพเจ้าที่ให้การช่วยเหลือ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดทั้งการทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจทั้งในด้านการศึกษา การนำไปประยุกต์ใช้อย่างสูงสุด

สำหรับคุณประโยชน์ และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา ผู้ที่เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดจนถึงทุกวันนี้

พชร เย็นใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..I
กิตติกรรมประกาศ...III
สารบัญ..IV
สารบัญรูป..VII
สารบัญตาราง..XI
บทที่ 1 บทนำ..1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ...1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..7
1.3 ขอบเขตการวิจัย...7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ...7
1.5 วิธีการศึกษา...7
บทที่ 2 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง...9
2.1 การลดอุณหภูมิใต้หลังคา..9
2.1.1 การทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling)...................................10
2.2 การระบายอากาศ..12
2.2.1 ความดันของอากาศในระบบ...12
2.2.2 ความดันอากาศที่มีผลต่อความเร็วของอากาศในระบบ...12
2.3 การระบายอากาศด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ...15
2.3.1 การลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting)...................................18
2.3.2 การสูญเสียความดันในระบบ...19
2.4 การออกแบบระบบระบายอากาศ...20
2.4.1 อุปกรณ์สร้างอัตราการไหล..20
2.4.1.1 พัดลม..20
2.4.2 อุปกรณ์กำหนดทิศทางการไหลของอากาศ...22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2.1 ระบบท่อ.....22

2.4.2.2 ฮูด.....25

2.4.2.3 ช่องเปิดอากาศ.....26

2.4.3 อาคารกรณีศึกษา.....26

2.4.4 การติดตั้งระบบระบายอากาศ.....27

2.5 กรอบแนวคิด.....30

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....31

3.1 การเก็บข้อมูลในอาคารกรณีศึกษา.....32

3.1.1 การเก็บข้อมูลอาคารเพื่อกำหนดขอบเขตงานวิจัย.....32

3.1.2 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร.....34

3.1.3 การกำหนดอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศ.....35

3.2 การจำลองสภาพการไหลโดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computation Fluid: Incompressible Flow).....41

3.2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation.....42

3.2.2 การจัดการโมเดลจำลองจากอาคารกรณีศึกษา (Model's Simplifications).....44

3.2.3 การสร้างกริดที่ใช้ในการคำนวณ (Meshing).....45

3.2.4 การคำนวณผลลัพธ์ (Solving).....47

3.3 การสร้างโมเดลการศึกษาในสถานที่จริง.....48

3.3.1 เตรียมสถานที่ และติดตั้งระบบระบายอากาศ.....48

3.3.2 การเก็บข้อมูล.....49

3.3.3 การคำนวณข้อมูล.....53

บทที่ 4 การดำเนินงาน และผลการวิจัย.....53

4.1 การจำลองสภาพการไหลโดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computation Fluid: Incompressible Flow).....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1 ข้อมูลอุณหภูมิตั้งต้น เพื่อการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์..............................54
4.1.2 การจำลองโมเดลจากอาคารกรณีศึกษา (Model’s Simplifications).....................56
4.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพของฮูด...57
4.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพของช่องเปิด...58
4.2 การศึกษาในสถานที่จริง...62
4.2.1 การติดตั้งระบบระบายอากาศ..62
4.2.2 การเก็บข้อมูล...67
4.2.3 การคำนวณข้อมูล...78
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ...80
5.1 สรุป...80
5.2 ข้อเสนอแนะ...80
บรรณานุกรม...83
ภาคผนวก...86
ประวัติผู้เขียน..90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงตัวอย่างการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาเข้าสู่ภายในอาคาร..........1

1.2 แสดงผังบริเวณ และทัศนียภาพภายนอกอาคารกรณีศึกษา..........2

1.3 แสดงพื้นที่ใต้หลังคาอาคารกรณีศึกษา..........2

1.4 แสดงเครื่องมือวัดความร้อน..........3

1.5 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณอาคารบ้านแถวชั้นเดียว..........3

1.6 แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศเพื่อระบายความร้อนผ่านทางฝ้าชายคาด้วยลมธรรมชาติ..........4

1.7 แสดงวิธีการศึกษา..........8

2.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการการทำความเย็นโดยการพาความร้อน..........11

2.2 ความดันสถิต ความดันเคลื่อนที่ และความดันรวม..........13

2.3 แสดงการระบายความร้อนแบบ Stack Ventilation..........12

2.4 แสดงกรอบแนวคิดการระบายอากาศในระบบ..........15

2.5 แสดงการไหลของอากาศ และการมุงกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์..........16

2.6 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านจำลอง PVRSC-PCM ร่วมกับ DC fan..........17

2.7 แสดงการลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting)..........18

2.8 แสดงกรอบแนวคิดการระบายอากาศ และการสูญเสียความดันในระบบ..........20

2.9 ส่วนประกอบของพัดลมแรงเหวี่ยง..........21

2.10 ลักษณะของพัดลมไหลตามแนวแกนชนิดต่าง ๆ..........22

2.11 แสดงแฟกเตอร์การสูญเสียของท่อโค้งหน้าตัดวงกลม มุมโค้ง 90°..........24

2.12 แสดงการต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลัก..........24

2.13 แสดงการต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลักในลักษณะสมมาตร..........25

2.14 แสดงลักษณะฮูดฝาครอบ..........26

2.15 แสดงผังอาคารกรณีศึกษา..........27

2.16 แสดงรูปตัด และวัสดุโครงสร้างอาคารกรณีศึกษา..........27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.17 แสดงตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศ และตำแหน่งอากาศเข้า....28

2.18 แสดงการเกิด Ventilation Short Circuiting ในอาคารกรณีศึกษา....28

2.19 แสดงตำแหน่งการติดตั้งระบบระบายอากาศในอาคารกรณีศึกษา....29

2.20 แสดงกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย....30

3.1 แสดงกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย....31

3.2 แสดงผังอาคารกรณีศึกษา....32

3.3 แสดงรูปตัด และวัสดุโครงสร้างอาคารกรณีศึกษา....33

3.4 แสดงพื้นที่จริงภายนอกอาคารกรณีศึกษา....33

3.5 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ....35

3.6 แสดงพัดลมระบายอากาศ SEAFLO ขนาด 4 นิ้ว....37

3.7 แสดงท่ออลูมิเนียมฟอยด์....38

3.8 แสดงช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด เอสซีจี รุ่นเซาะร่อง 3 นิ้วระบายอากาศ....39

3.9 แสดงการจำลองการติดตั้งระบบระบายอากาศในพื้นที่จริง....40

3.10 แสดงการไหลแบบอัดตัว และไม่อัดตัว....43

3.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่จริง และตัวอย่างโมเดลจำลอง....44

3.12 แสดงตัวอย่างขอบเขตการคำนวณของแบบจำลอง....45

3.13 แสดงตัวอย่างพื้นที่ปริมาตรอากาศที่ใช้ในการคำนวณในแบบจำลอง....45

3.14 แสดงชนิดของ Mesh ใน SolidWorks Flow Simulations....46

3.15 แสดง Mesh ในแบบจำลอง....46

3.16 แสดงตัวอย่าง Contour อุณหภูมิอากาศในแบบจำลอง....47

3.17 แสดงเครื่องมือวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations....48

3.18 แสดงการก่อผนังเพื่อกำหนดขอบเขตมวลอากาศภายในบริเวณพื้นที่ใต้หลังคา....49

3.19 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา....50

4.1 แสดงเครื่องมือวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.2 แสดงโมเดลเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศ 56

4.3 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาขณะปิดระบบระบายอากาศด้วยโปรแกรม
SolidWorks Flow Simulations..57

4.4 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ฮูดรูปแบบที่ 1 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ.............57

4.5 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ฮูดรูปแบบที่ 2 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ.............58

4.6 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ฮูดรูปแบบที่ 3 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ.............58

4.7 แสดงโมเดลรูปแบบช่องเปิดทั้ง 4 แบบ...59

4.8 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 1 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ.....60

4.9 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 2 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ.....60

4.10 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 3 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ..61

4.11 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 4 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ..61

4.12 แสดงรูปแบบการติดตั้งในพื้นที่จริง...62

4.13 แสดงรูปแบบ และขนาดของฮูด..62

4.14 แสดงการติดตั้งช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด..63

4.15 แสดงการติดตั้งฮูด และท่ออลูมิเนียมฟอยล์..63

4.16 แสดงพัดลมระบายอากาศขนาด 4 นิ้ว..63

4.17 แสดงการติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ฝ้าชายคาทิศตะวันตก..64

4.18 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา..65

4.19 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A1) และการเจาะฝ้า T-Bar เพื่อวัดอุณหภูมิผิว
กระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ที่จุด (B)...65

4.20 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A2)...66

4.21 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A3)...66

4.22 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A4)...66

4.23 แสดงตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลม (C)..67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.24 แสดงกราฟอุณหภูมิอากาศภายในห้องอาคารกรณีศึกษา (A1) ในวันที่ปิด
และเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00น...71

4.25 แสดงกราฟอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) ในวันที่ปิด
และเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น...74

4.26 แสดงกราฟอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา (A3) ในวันที่ปิด
และเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่าง เวลา 9.00-18.00 น..77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แสดงข้อมูลการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..5
1.2 แสดงข้อมูลการระบายอากาศด้วยการพาความร้อนแบบบังคับจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......................6
2.1 แสดงรูปแบบการระบายอากาศ และอุปกรณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของอากาศ
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..17
3.1 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกอุณหภูมิในแต่ละจุดเพื่อกำหนดตัวแปรควบคุม....................................34
3.2 แสดงเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิอาคารกรณีศึกษา...35
3.3 แสดงเกณฑ์การเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศ..37
3.4 แสดงการเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศเพื่อกำหนดตัวแปรต้น และต้นแปรควบคุม......40
3.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีในการทดลอง..41
3.6 แสดงเครื่องมือตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา...50
3.7 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก และอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา
(ใต้หลังคา) ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศ..51
3.8 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในวันที่ปิดพัดลม
ระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น...52
3.9 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในวันที่เปิดพัดลม
ระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น...52
4.1 แสดงตารางบันทึกอุณหภูมิในแต่ละจุดเพื่อกำหนดตัวแปรควบคุม...55
4.2 แสดงเครื่องมือตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา...64
4.3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก และอุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านใน
หลังคาในวันที่ปิดและเปิดพัดลมระบายอากาศ...67
4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก, อุณหภูมิผิวกระเบื้อง
ด้านในหลังคา ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมดูดอากาศ...68
4.5 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (A1) ในวันที่ปิดพัดลม
ระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00...69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

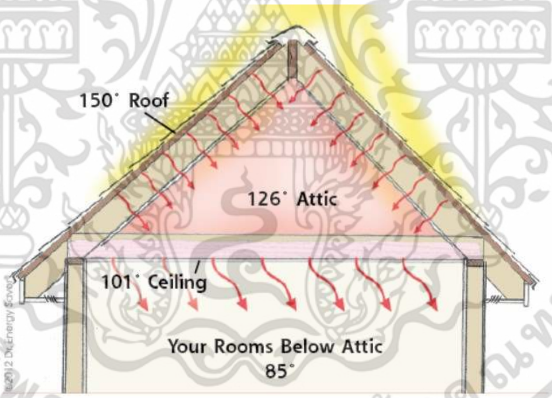
4.6 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (A1) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00....70
4.7 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น....72
4.8 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น....73
4.9 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา (A3) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น....75
4.10 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา (A3) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น....76
4.11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในห้อง, เหนือฝ้าเพดาน และใต้สันหลังคา ในวันที่ปิดพัดลม และวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตร สภาพอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยจึงมีลักษณะร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปี ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นสาเหตุหนึ่งในการสร้างผลกระทบที่จะเพิ่มภาระการทำความเย็นของบ้านพักอาศัย (นิรันดร์ วัชโรดม, ณัฐวุฒิ อินทบุตร, 2563) หากมององค์ประกอบของบ้านพักอาศัยที่มีหลังคาหรือดาดฟ้าจะพบว่า ส่วนที่ได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงก็คือ หลังคา ทำให้ส่งผลกระทบโดยตรงตลอดทั้งวันต่ออุณหภูมิภายในห้องของตัวอาคาร ความร้อนดังกล่าวจะถูกส่งผ่านจากบริเวณใต้หลังคามายังฝ้าเพดาน และมาสู่ภายในห้องทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น (อุทัย ประสบชิงชนะ, 2541) ทำให้ชั้นบนสุดของอาคาร และอาคารที่มีชั้นเดียวนั้น ย่อมได้รับผลกระทบจากความร้อนโดยตรงผ่านบริเวณหลังคา



รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาเข้าสู่ภายในอาคาร
(ที่มา: carolinaenergyconservation.com)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาความร้อนสะสมในอาคารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นบ้านแถวชั้นเดียว ซึ่งเป็นอาคารของครอบครัวผู้วิจัยเอง และพบปัญหาความร้อนจากการบอกเล่าของผู้พักอาศัย โดยศึกษาห้องที่มีลักษณะปิดล้อมด้วยผนังทั้งสองด้านของตัวอาคารเพราะห้องลักษณะนี้จะได้รับผลกระทบจากความร้อนใต้หลังคาโดยตรง เป็นอาคารประเภทบ้านแถวชั้นเดียวซึ่งมีลักษณะหลังคาเป็นแบบหน้าจั่ว และไม่มีระบบการระบายอากาศเพื่อระบายความร้อนใต้หลังคา อาคารตั้งอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ.พิมาย จ.นครราชสีมา อาคารดังกล่าวเป็นบ้านแถวใช้ผนังร่วมกัน 6 ห้องด้านหน้าอาคารอยู่ในทิศตะวันตก พื้นที่โดยรอบเปิดโล่ง ไม่มีอาคารสูงบังทิศทางแดด

รูปที่ 1.2 แสดงผังบริเวณ และทัศนียภาพภายนอกอาคารกรณีศึกษา (ที่มา:ผู้วิจัย, 2565)

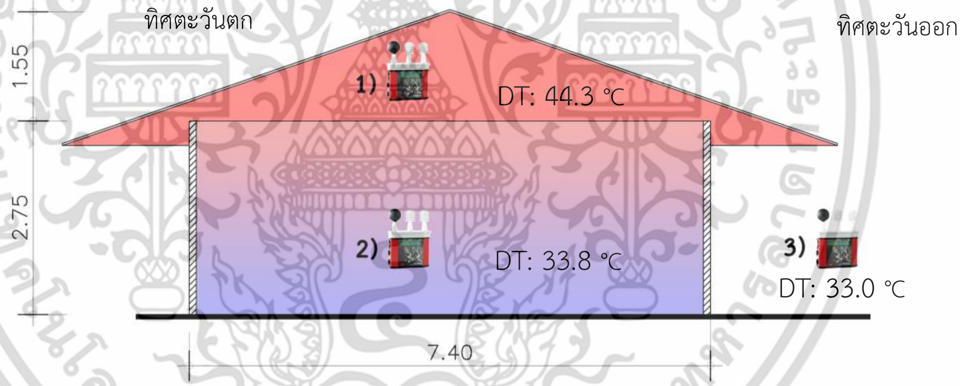
รูปที่ 1.3 แสดงพื้นที่ใต้หลังคาอาคารกรณีศึกษา (ที่มา:ผู้วิจัย, 2565)

ผู้วิจัยได้สังเกตุเห็นปัญหาความร้อนสะสมภายในอาคารจากการสอบถามผู้พักอาศัย จึงทำการตรวจวัดอุณหภูมิบ้านแถวชั้นเดียวด้วยเครื่องวัดความร้อน (Thermal Environment Monitor) ยี่ห้อ 3M Quest รุ่น QUESTemp°34 เพื่อใช้ในการวัดสภาพความร้อน ในเดือน มกราคม 2565 โดยวัดค่าอุณหภูมิ Dry Bulb Temperature หรือ DT อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห่ง (°C) เป็นการวัดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งแสดงถึงการถ่ายเทความร้อนโดยการพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.4 แสดงเครื่องมือวัดความร้อน (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ผู้วิจัยได้ทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ตำแหน่งได้แก่ 1) ใต้หลังคา 2) ภายในอาคาร 3) ภายนอกอาคาร โดยบริเวณภายนอกอาคารนั้นผู้วิจัยได้เลือกวัดอุณหภูมิบริเวณทิศตะวันออกเนื่องจากเป็นจุดที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงในช่วงที่ร้อนจัดของวัน (ช่วงเวลา 12.00 -16.00 น.) ผลการตรวจวัดอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 1.4 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (ΔT) ระหว่างพื้นที่ใต้หลังคา และภายนอกอาคาร



รูปที่ 1.5 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณอาคารบ้านแถวชั้นเดียว (ที่มา: ผู้วิจัย 2565)

จากผลการวัดอุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb Temperature) ของบริเวณ 3 ตำแหน่งมีดังนี้

1) ใต้หลังคา Dry Bulb Temperature = 44.3 ℃

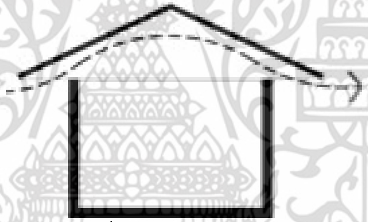
2) ภายในอาคาร Dry Bulb Temperature = 33.8 ℃

3) ภายนอกอาคาร Dry Bulb Temperature = 33 ℃

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิบริเวณใต้หลังคานั้นสูงกว่าตำแหน่งภายนอกอาคารอย่างเห็นได้ชัด โดยค่า DT (Dry Bulb Temperature) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 11.3 ℃ โดยอุณหภูมิภายนอกอาคารต่ำกว่าใต้หลังคา และต่ำกว่าภายในอาคารเล็กน้อย (0.8 ℃) ข้อมูลดังกล่าวแสดงถึงปัญหาความร้อนภายในอาคารจากความร้อนสูงสะสมภายใต้หลังคา และส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบระบายความร้อนจากหลังคานั้น โดยทั่วไปอาจแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ การระบายอากาศที่ฝ้าชายคา การระบายอากาศที่หน้าจั่วหลังคา และการระบายที่บริเวณแนวสันหลังคา โดยการระบายอากาศร้อนที่ชายคา และหน้าจั่วนั้นจะอาศัยแรงลมในการระบายความร้อนสู่ภายนอก ส่วนการระบายอากาศร้อนที่สันหลังคาจะใช้การลอยตัวของอากาศร้อนที่ลอยขึ้นข้างบน โดยสำหรับในประเทศไทย เนื่องจากสภาพอากาศที่มีฝนตกมาก วิธีระบายอากาศที่ฝ้าชายคาจึงได้รับความนิยมแพร่หลายมากกว่าอีกสองแบบ เพราะสามารถป้องกันน้ำฝนรั่วเข้าในช่องใต้หลังคาได้ดีกว่า (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2551) โดยเป็นการระบายความร้อนด้วยการใช้ประโยชน์จากลมธรรมชาติผ่านการพาความร้อน และหนึ่งในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนจากหลังคานั้นคืออาคารตึกแถวหรือบ้านแถวชั้นเดียว ซึ่งเป็นรูปแบบอาคารที่เป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทย จากการที่ประชากรในเขตเมืองมีความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ที่อยู่อาศัยในเขตเมืองไม่เพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงสามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนกลุ่มใหญ่ที่ต้องการที่อยู่อาศัยที่มีราคาไม่แพงมาก เนื่องจากมีกำลังทรัพย์ไม่เพียงพอที่จะซื้อบ้านเดี่ยวได้ (ปุณยวีร์ เต็มธนานันท์, 2554)



รูปที่ 1.6 แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศเพื่อระบายความร้อนผ่านทางฝ้าชายคาด้วยลมธรรมชาติ
(ที่มา: พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2550)

จากทฤษฎีการพาความร้อน (Convection) นั้นว่าด้วยการที่พลังงานความร้อนถ่ายเทผ่านวัตถุที่สัมผัสกันโดยทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า พบว่าอากาศร้อนนั้นจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ซึ่งเป็นหลักการพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ ส่วนการพาโดยการบังคับ (Forced Convection) นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วด้วยกลไกภายนอก เช่น การใช้พัดลมหรือสูบน้ำ (อนุสรณ์ สุขเกษม, 2550) เช่นเดียวกับหลักการทำงานของพัดลมระบายอากาศที่ใช้การระบายแบบดูดออก (Extraction) ซึ่งอาศัยการดูดเอาอากาศเดิมออกสู่ภายนอก ทำให้ความดันภายในบริเวณนั้นต่ำกว่าภายนอก อากาศใหม่ก็จะแทรกซึมมาตามช่องหรือรอยแตกของอาคารได้ (ชัชชัย นบธีรานุภาพ, 2542) โดยจากตามทฤษฎีที่กล่าวมา บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง อากาศจะขยายตัว และลอยตัวสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศโดยรอบ และความดันอากาศบริเวณนั้นต่ำกว่าบริเวณใกล้เคียง ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นจะสูงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้ความดันบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง มวลอากาศร้อนภายใต้หลังคาที่มีความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่าภายนอกนั้นจึงขยายตัว ยกตัวสูงขึ้น และสะสมอยู่บริเวณพื้นที่ใต้หลังคา ถ้ามีการทำช่องระบายอากาศออกด้วยกลไกการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) อาจเป็นการช่วยลดอุณหภูมิบริเวณใต้หลังคา และส่งผลต่อการลดอุณหภูมิภายในห้อง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และด้วยวิธีการพาความร้อนแบบบังคับเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพาความร้อนแบบบังคับ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจำนวน 5 เอกสารงานวิจัย พบว่าผลการวิจัยส่วนใหญ่มีผลไปในทางเห็นประโยชน์ที่ได้จากการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยวิธีธรรมชาติค่อนข้างน้อย แต่มีบางงานวิจัยที่สนับสนุนคือแสดงให้เห็นถึงความไม่แน่ชัดในเรื่องประสิทธิผลของการระบายความร้อนใต้หลังคา เนื่องจากยังมีตัวแปรที่ไม่แน่นอนทั้งสภาพความเร็วลม ทิศทางลม สัดส่วนพื้นที่ระบายอากาศต่อพื้นที่หลังคา ทิศทางการวางตัวของอาคาร และสภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารงานวิจัย	ประเด็น และผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	ผลสรุป
Parker, Danny S. Florida Solar Energy Center. Literature Review of the Impact and Need for Attic Ventilation in Florida Homes. 2007	ศึกษากฎหมายที่กำหนดพื้นที่ระบายอากาศใต้หลังคาในสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดให้มีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 1:300 และต้องมีช่องระบายอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 1:150 หากไม่มีการใช้แผ่นกันไอน้ำไม่พบที่มาของตัวเลขที่กฎหมายกำหนด แต่สรุปได้ว่าการระบายอากาศเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อควบคุมความชื้นใต้หลังคา	ไม่พบประสิทธิผลที่แน่นอนในการระบายความร้อน
Anton TenWold, William B. Rose. Issues Related to Venting of Attics and Cathedral Ceilings. 1999	ศึกษาการระบายความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคา และฝ้าเพดานโบสถ์ด้วยวิธีธรรมชาติ พบว่าการระบายอากาศใต้หลังคาสามารถลดความร้อนได้น้อย เป็นทางเลือกเท่านั้น	ไม่พบประสิทธิผลที่แน่นอนในการระบายความร้อน
David Beal , Subrato Chandra, The Measured Summer Performance of Tile Roof Systems and Attic Ventilation Strategies in Hot, Humid Climates, 1995	ศึกษาระบบการระบายอากาศใต้หลังคาภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้น พบว่าการระบายอากาศผ่านทางฝ้าชายคาที่มีสัดส่วน 1:230 ของพื้นที่ใต้หลังคา สามารถลดความร้อนที่ไหลผ่านหลังคาได้ 25 เปอร์เซ็นต์	พบประสิทธิผลในการระบายความร้อน
วิกรม จำนงค์จิตต์, ประสิทธิผลของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา, 2545	ทดสอบการระบายอากาศใต้หลังคาโดยใช้พัดลมระบายอากาศโดยให้อัตราการไหลของอากาศเทียบเท่าการพาความร้อนแบบธรรมชาติพบว่าความร้อนลดลงน้อยมาก แสดงถึงประสิทธิภาพการระบายความร้อนแบบธรรมชาติที่ไม่ดีนัก	ไม่พบประสิทธิผลที่แน่นอนในการระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล,การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น: กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหลังคาระบบปิด และหลังคาที่มีระบบระบายอากาศ พบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคาระบบระบายอากาศนั้นลดลง เทียบกับหลังคาระบบปิด แต่ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นว่าหลังคาระบบระบายอากาศช่วยลดพลังงานความร้อนได้เนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายในห้องของหลังคาระบบระบายอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิห้องของหลังคาระบบปิด	ไม่พบประสิทธิผลที่แน่นอนในการระบายความร้อน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนแบบบังคับจำนวน 3 เอกสารงานวิจัย พบว่าการพาความร้อนแบบบังคับนั้นสามารถลดความร้อนในบริเวณใต้หลังคาได้ โดยอาศัยการดึงอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และความดันสูงกว่าเข้ามาแทนที่อากาศใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่า และความดันต่ำกว่า เนื่องจากแรงลมธรรมชาตินั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการดันอากาศร้อนใต้หลังคาออก ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลการระบายอากาศด้วยการพาความร้อนแบบบังคับจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารงานวิจัย	ประเด็น และผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	ผลสรุป
ศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม, ติกะ บุนนาค และปรีดา จันทวงษ์, การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง, 2021	บ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาระบายอากาศที่ใช้การระบายอากาศแบบบังคับผ่านพัดลมระบายนั้นมีค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาลดลงเมื่อเทียบกับการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยอาศัยแรงลอยตัวของอากาศภายในห้องใต้หลังคา	พบประสิทธิผลในการระบายความร้อน
วิทยา พวงสมบัติ, จิระศักดิ์ พุกดำ และดิษฐา นนธิวรวงศ์, สมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้ง พัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์, 2564	บ้านทดสอบกระเบื้องหลังคาคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าโซล่าเซลล์มีค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานต่ำกว่าบ้านทดสอบกระเบื้องคอนกรีตธรรมดา 40 เปอร์เซ็นต์	พบประสิทธิผลในการระบายความร้อน
C. Nutphuang, S. Chirarattananon, and V.D. Hien, Application of CFD for Air Flow Analysis Underneath Natural Ventilation with Forced Convection in Roof Attic, 2011	การใช้โปรแกรม CFD วิเคราะห์การไหลของอากาศภายใต้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และแบบบังคับบริเวณใต้หลังคา พบว่าการระบายอากาศด้วยวิธีการพาแบบบังคับนั้นทำให้อุณหภูมิบริเวณแกนเหล็กในพื้นที่ใต้หลังคาแตกต่างกับการพาแบบธรรมชาติ 10-15 ^{o}K	พบประสิทธิผลในการระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้างต้นนั้นสามารถสรุปได้ว่า การระบายมวลความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคานั้นควรเป็นการระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ซึ่งจำเป็นต้องมีแรงกระทำเข้าช่วยเพื่อใช้แก้ปัญหาความร้อนสะสมใต้หลังคาเพื่อแก้ปัญหาความร้อนในอาคารกรณีศึกษา จึงเปนที่มาของหัวข่อการวิจัย “การลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ กรณีศึกษา : อาคารบ้านแถวชั้นเดียวในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา”

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารบ้านแถวชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศในเขตร้อนชื้นของประเทศไทย
1.3.2 การวิจัยนี้ทำการทดลองกับอาคารตัวอย่างประเภทอาคารบ้านแถวชั้นเดียวเท่านั้น
1.3.3 การวิจัยนี้เป็นการทดสอบการลดความร้อนในอาคารโดยวิธีการพาความร้อนแบบบังคับ

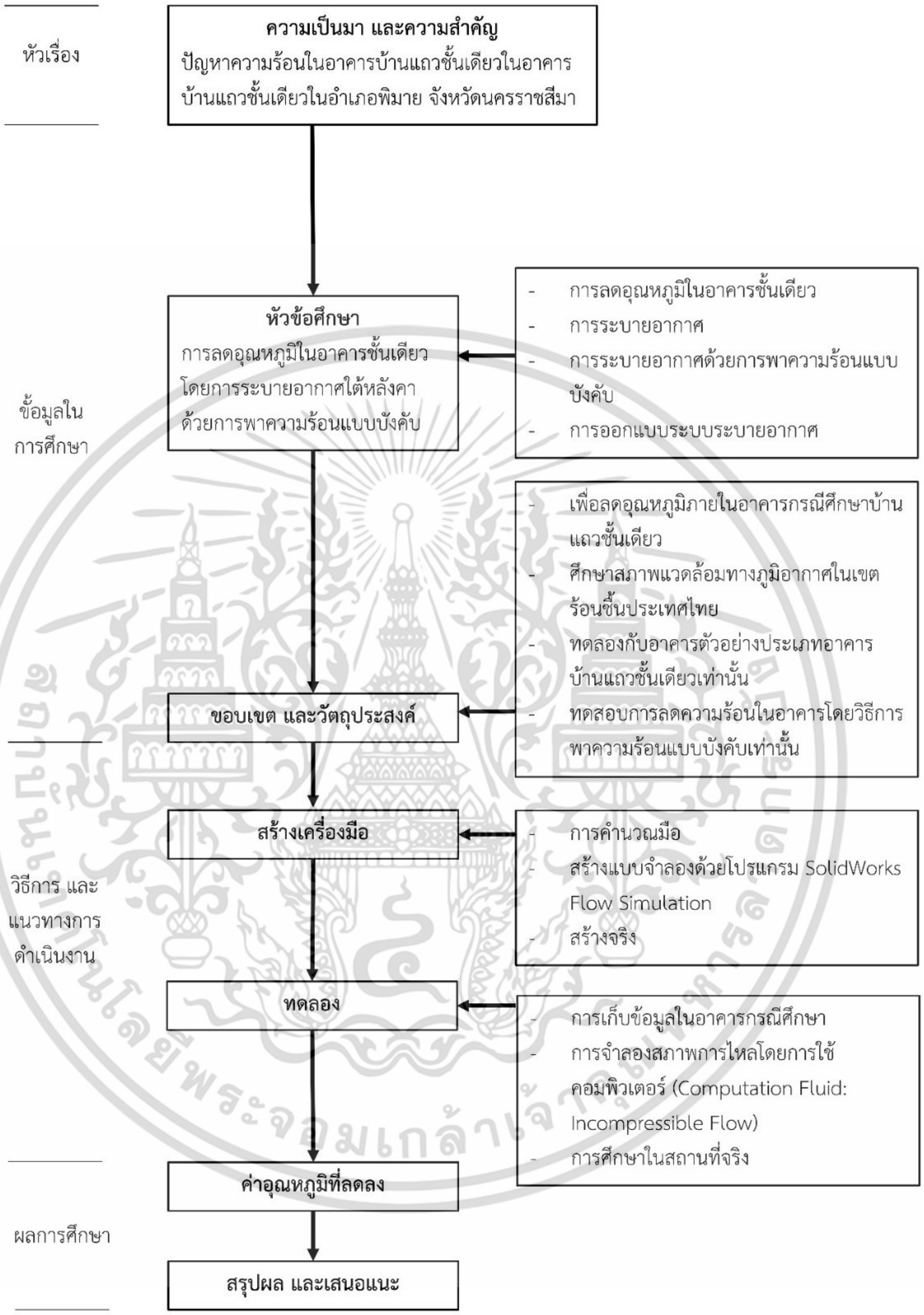
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารแถวชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ

1.5 วิธีการศึกษา

วิธีการวิจัยใช้กระบวนการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research[])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 แสดงวิธีการศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ ประกอบด้วยประเด็นดังต่อไปนี้

2.1 การลดอุณหภูมิใต้หลังคา

2.1.1 การทำความเย็นโดยการพาความร้อน

2.2 การระบายอากาศ

2.2.1 ความดันของอากาศในระบบ

2.2.2 ความดันอากาศที่มีผลต่อความเร็วของอากาศในระบบ

2.3 การระบายอากาศด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ

2.3.1 การลัดวงจรการระบายอากาศ

2.3.2 การสูญเสียความดันในระบบ

2.4 การออกแบบระบบระบายอากาศ

2.4.1 อุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศ

2.4.2 อุปกรณ์กำหนดทิศทางการไหลของอากาศ

2.4.3 อาคารกรณีศึกษา

2.1 การลดอุณหภูมิใต้หลังคา

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่าการระบายความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคาโดยใช้แรงกระทำจากลมธรรมชาตินั้นได้ผลลัพธ์ไม่เป็นที่แน่ชัดถึงประสิทธิภาพในการลดความร้อนในตัวอาคาร เนื่องจากปัจจัยภายนอกหลายอย่างที่ไม่คงที่โดยเฉพาะแรงลมธรรมชาติ ซึ่งไม่แน่นอน อีกทั้งขึ้นกับการวางทิศทางของตัวอาคาร และสภาพแวดล้อมรอบข้างซึ่งอาจกีดขวางทิศทางลม ดังนั้นการระบายอากาศด้วยพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ที่สามารถควบคุมทิศทางการไหลของลม และอัตราการไหลของอากาศได้ จึงมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนกว่าการระบายอากาศโดยใช้แรงลมธรรมชาติ ซึ่งการพาความร้อนแบบบังคับเป็นการลดอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของวัสดุ ซึ่งจะช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอก เช่นจากพัดลมหรือปั๊ม โดยไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงหรือการลอยตัวของอากาศ และสามารถเกิดขึ้นได้ทุกทิศทาง (วิกรม จำนงค์จิตต์, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling)

การทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling) เป็นวิธีการทำความเย็นให้กับอาคารโดยดึงอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า อัตราการเคลื่อนย้ายความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$q_s = 60\ Q\ \rho C_p\ \Delta T \quad (2.1)$$

โดยที่ q_s คือ ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu / h)

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

60 คือ จำนวนนาทีที่มีการไหลของอากาศใน 1 ชั่วโมง

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (lbm / ft^3) มีค่าประมาณ 0.075 lbm / ft^3

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu / lb ^oF) มีค่าประมาณ 0.24 Btu / lb ^oF

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายใน และภายนอก (^oF)

จากสมการข้างต้น แสดงถึงความสามารถในการลดอุณหภูมิภายในพื้นที่อาคารผ่านการพาความร้อน โดยต้องอาศัยปัจจัยสำคัญคือ อุณหภูมิภายนอกนั้นต้องต่ำกว่าอุณหภูมิบริเวณภายในที่จะลดอุณหภูมิ และจำเป็นต้องมีอัตราการไหลของอากาศ กล่าวคือ ยิ่งอัตราการไหลของอากาศ (Q) และ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในพื้นที่ใต้หลังคา กับอากาศภายนอกอาคาร (ΔT) สูง จะทำให้ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (q_s) สูงขึ้นตาม

อัตราการไหลของอากาศ (Volumetric Flow Rate, Q) หมายถึงปริมาตรของอากาศที่เคลื่อนผ่านจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งอัตราการไหลของอากาศนั้นจะสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของอากาศ และพื้นที่หน้าตัดของช่องทางที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน แสดงสมการดังนี้

$$Q = AV \quad (2.2)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s

A คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องทางที่อากาศไหลผ่าน, m^2

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ, m/s

(พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2564)

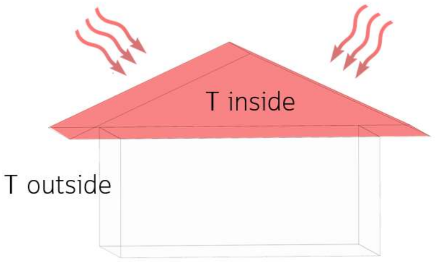
จากสมการ $q_s = 60\ Q\ \rho C_p\ \Delta T$ ค่า Q อยู่ในหน่วย cfm (ft^3/min)

$$\text{จะได้เป็น} \quad q_s = 60\ (AV)\ \rho C_p\ \Delta T \quad (2.3)$$

โดยที่ A อยู่ในหน่วย ft^2

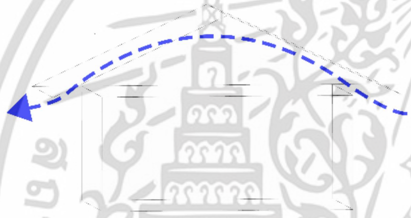
V อยู่ในหน่วย ft/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



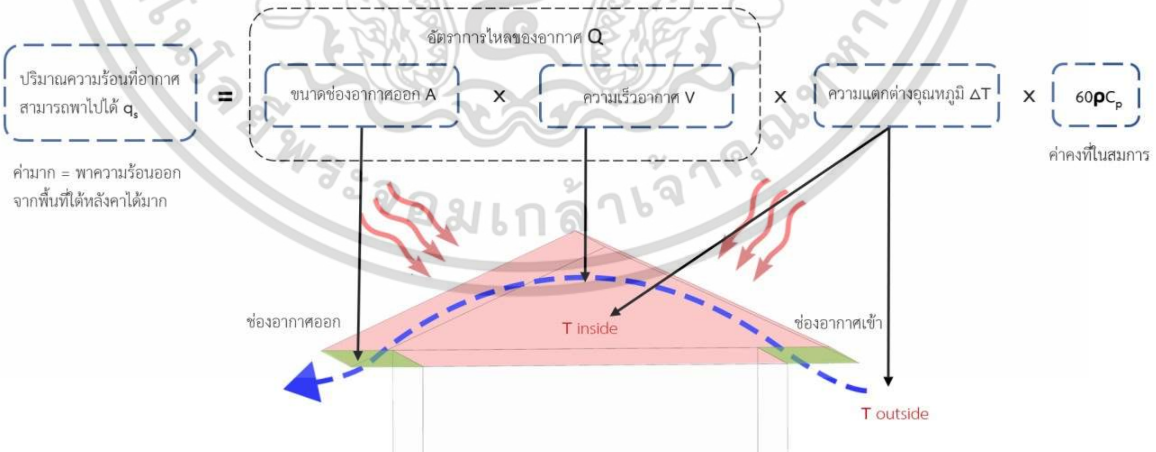
∆T เกี่ยวข้องกับ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

A เกี่ยวข้องกับขนาดพื้นที่ช่องเปิดการระบายอากาศ



V เกี่ยวข้องกับอัตราเร็วของอากาศ

สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการทำความเย็นโดยการพาความร้อนกับการระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการการทำความเย็นโดยการพาความร้อน

(ที่มา: ผู้วิจัย 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การระบายอากาศ

การทำความเย็นโดยการพาความร้อนนั้น ต้องเกิดการแลกเปลี่ยนของอากาศระหว่างอากาศในพื้นที่ใต้หลังคากับอากาศภายนอกโดยแสดงด้วยอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับทฤษฎีดังต่อไปนี้

2.2.1 ความดันของอากาศในระบบ

การเคลื่อนที่ของอากาศจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง จำเป็นต้องมีความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุด โดยอากาศจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีความดันสูงไปยังจุดที่มีความดันต่ำกว่าเสมอ และการที่อากาศเคลื่อนที่ภายในท่อได้นั้นย่อมแสดงว่ามีการแตกต่างกันของความดันภายในท่อแสดงหน่วยเป็นปาสคาล (Pascals, Pa) ในระบบ SI โดยที่ความดันที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศนั้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ความดันสถิต (Static Pressure, SP) คือความดันที่อยู่ในรูปแบบพลังงานศักดิ์ภายในระบบ ซึ่งเกิดขึ้นในทุกทิศทาง อาจมีค่าได้ทั้งบวกหรือลบ เป็นค่าที่วัดเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศในพื้นที่นั้น กล่าวคือ ถ้าความดันภายในท่อสูงกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ความดันสถิตจะมีค่าเป็นบวก และถ้าความดันในท่อต่ำกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ความดันสถิตจะมีค่าเป็นลบ

- ความดันเคลื่อนที่ (Velocity Pressure, VP) คือความดันที่อยู่ในรูปแบบพลังงานจลน์ภายในระบบ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ความดันเคลื่อนที่จะแปรผันตามกำลังสองความเร็วอากาศ ดังนั้นความดันเคลื่อนที่จะมีค่าเป็นบวกเสมอ และมีทิศทางไปในทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของอากาศ

- ความดันรวม (Total Pressure, TP) เป็นผลรวมของความดันสถิต และความดันเคลื่อนที่ ซึ่งแรงดันรวมแสดงถึงพลังงานรวมของระบบ ดังนั้นความดันรวมอาจเป็นบวกหรือลบได้เมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวม ความดันสถิต และพลังงานจลน์แสดงดังสมการ

$$TP = SP + VP$$

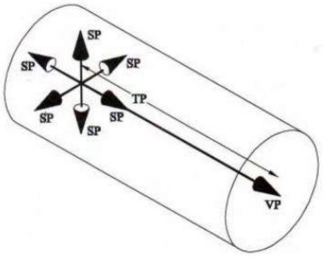
โดยที่ TP คือ ความดันรวม

SP คือ ความดันสถิต

VP คือ ความดันเคลื่อนที่

(พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2564)

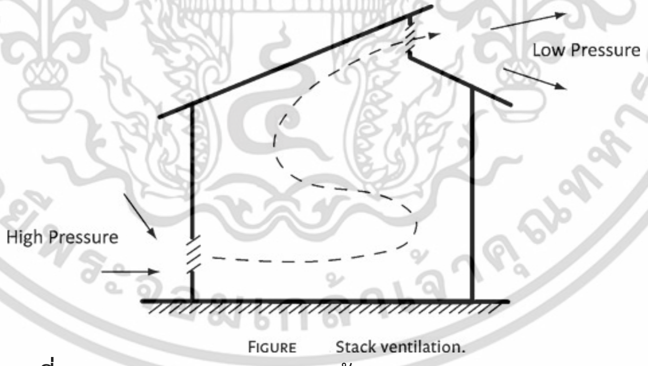
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความดันสถิต ความดันเคลื่อนที่ และความดันรวม (ที่มา: ACGIH, 2004)

2.2.2 ความดันอากาศที่มีผลต่อความเร็วของอากาศในระบบ

จากทฤษฎีสภาวะก๊าซในอุดมคติ บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง อากาศจะขยายตัว และลอยตัวสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศโดยรอบ และความดันอากาศบริเวณนั้นต่ำกว่าบริเวณใกล้เคียง ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นจะสูงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้ความดันบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง มวลอากาศร้อนภายใต้หลังคาที่มีความดันต่ำกว่าภายนอกนั้นจะขยายตัวและยกตัวสูงขึ้น เกิดการสะสมอยู่บริเวณพื้นที่ใต้หลังคาโดยเฉพาะบริเวณใกล้กับสันหลังคา ซึ่งวิธีระบายความร้อนแบบ Stack Ventilation เป็นการระบายอากาศโดยให้มวลอากาศร้อนที่มีความดันต่ำนั้นยกตัวขึ้นที่สูง และระบายออกในส่วนบนของอาคาร โดยอากาศร้อนจะระบายออกสู่ภายนอกได้ถ้ามีการเจาะช่องทางเข้า และทางออกของอากาศ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2548)



รูปที่ 2.3 แสดงการระบายความร้อนแบบ Stack Ventilation

(ที่มา: civilconstructiontips, 2017)

ซึ่งการระบายอากาศใต้หลังคานั้น สอดคล้องกับ “สมการของสภาวะก๊าซในอุดมคติ” (Equation of State of an Ideal Gas) คือ

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ p_1 คือ ความดันของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

p_2 คือ ความดันของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_1 คือ ปริมาตรของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_2 คือ ปริมาตรของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_1 คือ อุณหภูมิของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_2 คือ อุณหภูมิของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการระบายอากาศใต้หลังคาจึงอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายในช่องหลังคาเดิม T_1 สูงขึ้นเป็น T_2 ในขณะที่ปริมาตรในช่องหลังคายังคงเท่าเดิม ($V_1 = V_2$) สภาวะเช่นนี้ย่อมทำให้ความดันของอากาศในช่องใต้หลังคาสูงขึ้น ($P_2 > P_1$) เนื่องจากปริมาตรอากาศเท่าเดิม โดยในกรณีที่มีลมพัดอยู่ภายนอกหลังคา อากาศร้อนภายในหลังคาจะยิ่งสามารถเคลื่อนออกมาภายนอกตามช่องที่เจาะไว้ได้ง่ายขึ้นหากลมภายนอกพัดตรงเข้าหาช่องที่เจาะไว้ โดยลมนั้นก็จะไหลเข้าไปดันให้อากาศร้อนภายในช่องหลังคาเคลื่อนที่ออกไปทางช่องที่เจาะไว้อีกด้านเสมือนการเพิ่มความดันในระบบ แต่ถ้าหากลมพัดขนานกับระนาบของหน้าตัดช่อง ด้วยความเร็วลมจะทำให้ความดันของอากาศภายนอกหลังคาต่ำลง ทำให้ผลต่างระหว่างความดันอากาศภายใน และภายนอกหลังคามากขึ้น อากาศร้อนภายในหลังคาก็จะยิ่งไหลออกมาภายนอกได้ง่าย ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องตามกฎการคงที่ของผลรวมของความดันของของไหลตามสมการของเบอร์นุลลี (Bernoulli's Equation) ซึ่งสมการนี้อธิบายการคงที่ของพลังงานในการไหล ณ จุดต่าง ๆ ซึ่งถือว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานในการไหล สมการนี้คือ

$$\frac{p_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2$$

โดยที่ p_1 และ p_2 คือ ความดันของของไหล ณ จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลซึ่งสมมติว่าคงที่ตลอดการไหล

v_1 และ v_2 คือ ความเร็วในการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

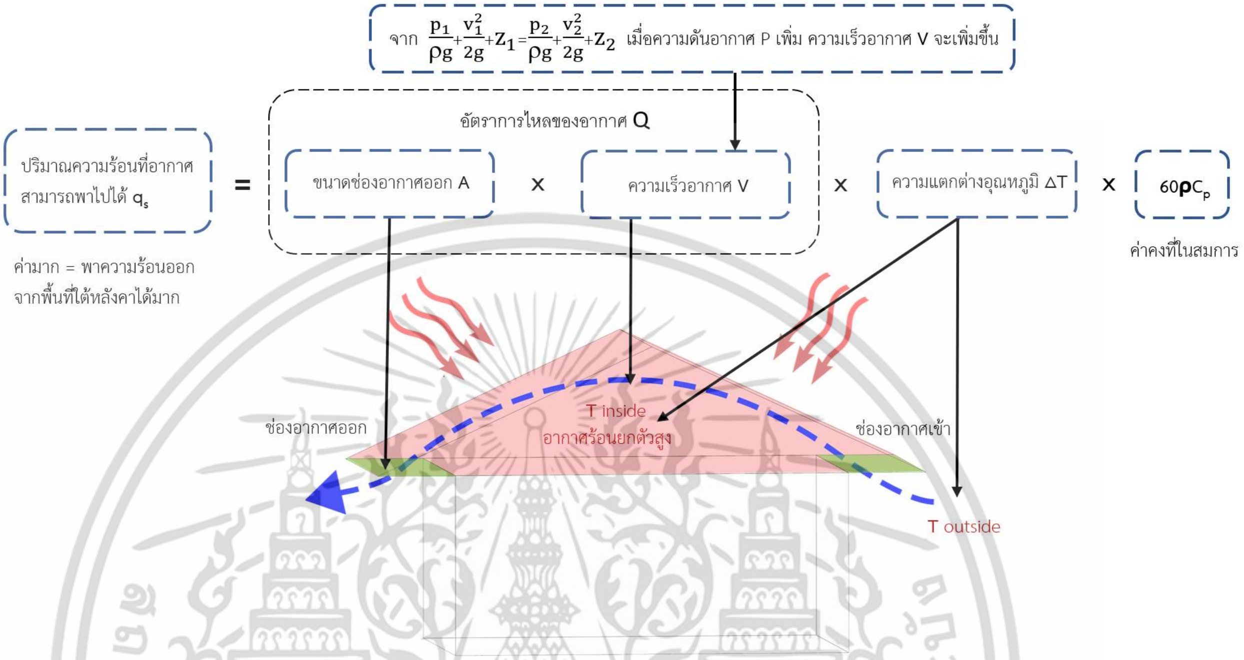
z_1 และ z_2 คือ ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงใด ๆ ของจุด 1 และ 2 ตามลำดับ

(ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2548)

จากข้อมูลสรุปได้ว่า อากาศร้อน ซึ่งมีความดัน (P) ต่ำกว่าอากาศเย็นจะยกตัวสูงขึ้น และจำเป็นต้องมีช่องทางเข้า และทางออกของอากาศเพื่อระบายอากาศ โดยความดัน (P) ของอากาศนั้นมีค่ามาก จะส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในระบบระบายอากาศมากขึ้นด้วย ซึ่งความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันสามารถเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ หรือความดันที่เกิดจากแรงกระทำ เช่น แรงลม ธรรมชาติ หรือแรงลมจากพัดลม



รูปที่ 2.4 แสดงกรอบแนวคิดการระบายอากาศในระบบ (ที่มา: ผู้วิจัย. 2565)

2.3 การระบายอากาศด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ

จากการศึกษาข้างต้นพบว่า ปัจจัยที่สามารถกำหนดปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาออกจากพื้นที่ใต้หลังคา (q_s) ได้ คือปริมาณการไหลของอากาศ (Q) จากสมการ Q=AV (2.2) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ และสามารถควบคุมได้ ซึ่ง A คือขนาดช่องเปิดอากาศ และ V คือความเร็วของอากาศ

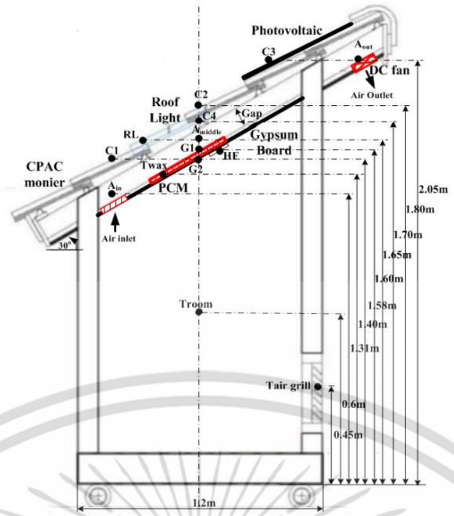
จากการศึกษางานวิจัยสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของวิทยา พวง-สมบัติ, จิระศักดิ์ พุกดา และ ดิษฐา นนธิวรวงศ์ (2564) ที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ ซึ่งทดสอบด้วยการติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบกับกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ท่อทางเดินอากาศ และพัดลมไฟฟ้าต่อตรงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงการไหลของอากาศดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจากผลการทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศผ่านห้องทดสอบได้เป็นอย่างดีซึ่งทำให้สามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคา และห้องทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้สูงถึง 11 W/m^2 ลดค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานมากกว่าหลังคาปกติถึง 40 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของอากาศ และการมุงกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (ที่มา: วิทยา พวงสมบัติ, จิระศักดิ์ พุกดา และ ดิษฐา นนธิวรวงศ์, 2564)

และการศึกษางานวิจัย ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลงของศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม, ติกะ บุนนาค และปรีดา จันทวงษ์ (2564) ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนและการลดภาระความร้อนระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลงติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (PVRSC-PCM with DC fan) กับหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SR) ซึ่งผลการศึกษาทดลองพบว่าห้องของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM จะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าห้องของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไปและสามารถเพิ่มการระบายอากาศภายในห้อง ทำให้มีอากาศไหลเวียน และลดค่าความร้อนจากห้องใต้หลังคาได้ดีกว่าห้องของบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SR) โดยสำหรับบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM ร่วมกับพัดลมระบายอากาศนั้นได้ทำการทดสอบ 2 สถานการณ์คือปิดพัดลมระบายอากาศ และให้ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากการลอยตัวของอากาศ (Stacking Ventilation) พบว่า มีค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาต่ำกว่าหลังคาคอนกรีตทั่วไปประมาณร้อยละ 21.43 และร้อยละ 34.78 ในสถานการณ์ที่เปิดพัดลมระบายอากาศควบคู่กับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดความร้อนในอาคารมากกว่าวิธีธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านจำลอง PVRSC-PCM ร่วมกับ DC fan
(ที่มา: ศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม, ติกะ บุนนาค และปรีดา จันทวงษ์, 2564)

ผู้วิจัยสามารถสรุปรูปแบบการระบายอากาศ และอุปกรณ์สำคัญที่สร้างอัตราการไหลของอากาศจากสมการ Q=AV (2.2) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการระบายอากาศ และอุปกรณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของอากาศจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการระบายอากาศ	อุปกรณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของอากาศ Q = AV
การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง	Stacking Ventilation โดยดึงอากาศจากภายในห้องเข้าสู่ใต้หลังคา และดึงอากาศออกทางสันหลังคา	1. พัดลมติดตั้งที่ทางออกของอากาศ 2. กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ 3. ท่อทางเดินอากาศ 4. ช่องทางเข้าอากาศ
ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง	Stacking Ventilation โดยดึงอากาศจากภายในห้องเข้าสู่ใต้หลังคา และดึงอากาศออกทางฝ้าชายคา	1. พัดลมติดตั้งที่ทางออกของอากาศ 2. สารวัสดุเปลี่ยนแปลง 3. ช่องทางเข้าอากาศ

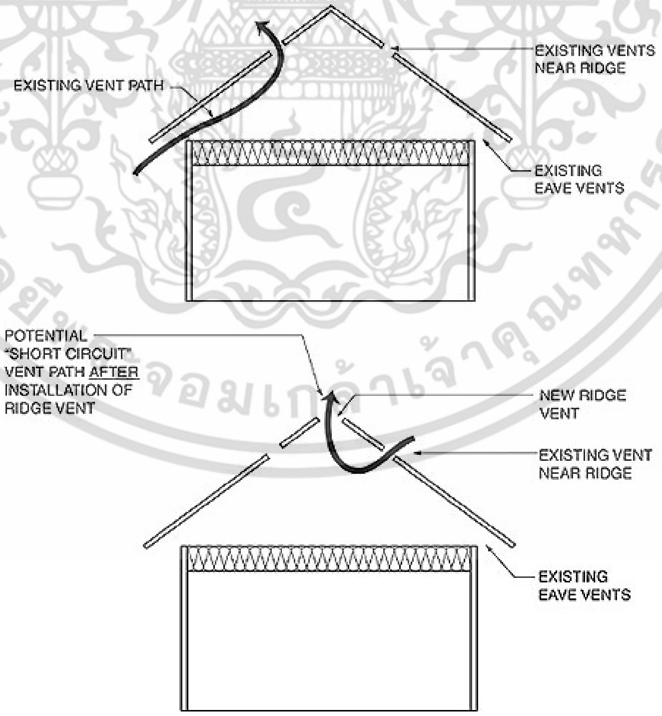
งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นได้ทดสอบผลลัทธ์ในอาคารจำลอง โดยพบว่าอุปกรณ์หลักคือการใช้พัดลมระบายอากาศติดตั้งบริเวณทางออกของอากาศ โดยกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศอย่างชัดเจน และจุดที่อากาศสามารถระบายได้ดีที่สุดคือบริเวณสันหลังคา เนื่องจากความร้อนจะยกตัวสูงขึ้น แต่เนื่องจากทดสอบในอาคารจำลอง จึงสามารถติดตั้งการระบายอากาศออกทางสันหลังคาได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของน้ำฝนในระยะยาว และสามารถดึงอากาศร้อนจากห้องในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบออกสู่ภายนอกได้โดยตรง ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งในสถานที่จริงหากในอาคารมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ รวมถึงการดูแลรักษาระบบที่ติดตั้งบนหลังคาได้ยาก นอกจากนี้การติดตั้งระบบระบายอากาศนั้นควรคำนึงถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.3.1 การลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting)

สิ่งที่ต้องคำนึงเมื่อติดตั้งระบบระบายอากาศคือ การเกิดการลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting) โดยการลัดวงจรนั้นเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ใต้หลังคา เมื่ออากาศไม่เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งโดยปกติแล้วการระบายอากาศใต้หลังคาจะเป็นการให้อากาศเข้าไปบริเวณทางเข้า และทางออกที่กำหนดไว้เพื่อไล่ความร้อน และความชื้นออกไป ตัวอย่างที่พบการลัดวงจรการระบายอากาศบ่อยที่สุดคือ เมื่อมีการติดตั้งระบบระบายอากาศมากกว่าหนึ่งประเภท เช่น หากติดตั้งช่องระบายอากาศทั้งบริเวณฝ้าชายคา และสันหลังคาไปพร้อม ๆ กัน ช่องระบายอากาศบริเวณใดบริเวณหนึ่งจากช่องระบายอากาศสองจุดนี้จะทำหน้าที่เป็นช่องอากาศเข้าแทน ซึ่งโดยธรรมชาตินั้นอากาศจะเดินทางตามเส้นทางที่สั้นที่สุด แรงต้านน้อยที่สุด ทำให้มวลอากาศส่วนอื่น ๆ ใต้หลังคาไม่มีการระบาย และหากการระบายอากาศไม่ทั่วถึง อากาศบางจุดจะนิ่ง ทำให้เกิดปัญหาเรื่อง ความร้อน ความชื้น และเชื้อรา ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting)

(ที่มา: Pro Home Improvement, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการแก้ไขการลัดวงจรการระบายอากาศนั้น ทำได้โดย หากมีการระบายอากาศที่สันหลังคา ให้ถอดการติดตั้งช่องระบายอากาศอื่น ๆ ให้หมด เนื่องจากสันหลังคาเป็นช่องทางการระบายความร้อนที่ดีที่สุด และอากาศจะออกไปบริเวณนั้นง่ายที่สุด จากการที่อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ลอยสูงขึ้น และหากมีการระบายอากาศโดยใช้เครื่องกลเข้าช่วย เช่น พัดลมระบายอากาศ ให้ถอดการติดตั้งการระบายอากาศอื่น ๆ ออกให้หมดเช่นกัน (prohomemi, 2017)

2.3.2 การสูญเสียความดันในระบบ

กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy) กล่าวคือเมื่อมีการไหลของอากาศจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งรวมถึงการระบายอากาศจากใต้หลังคานั้น ระดับของพลังงานรวมต้องมีค่าคงที่ ซึ่งหากพิจารณากฎการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบของความดันกับระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคานั้น ต้องคำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของความดันอากาศ (h_L) ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศ โดยมีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ (V) ทำให้ประสิทธิภาพในการนำความร้อนออกสู่ภายนอก (q_s) ลดลง สามารถเขียนกฎการอนุรักษ์พลังงานระหว่างสองจุดในระบบได้ดังนี้

$$TP_1 = TP_2 + h_L$$

แทนค่า TP = SP + VP

$$SP_1 + VP_2 = SP_1 + VP_2 + h_L$$

โดยที่ TP_1 และ TP_2 ความดันรวมของอากาศ ณ จุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

SP คือ ความดันสถิต

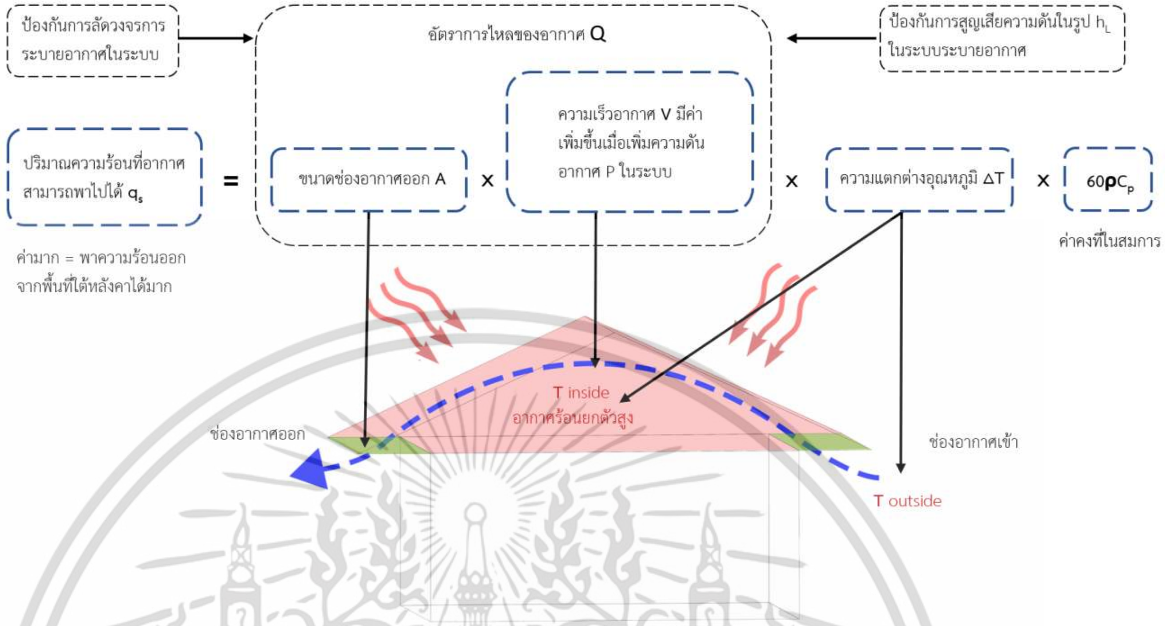
VP คือ ความดันเคลื่อนที่

h_L คือ พลังงานที่สูญเสีย (Head Loss) ในรูปของความดันเนื่องจากการไหลของอากาศจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2

(พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปแนวคิดได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 แสดงกรอบแนวคิดการระบายอากาศ และการสูญเสียความดันในระบบ
(ที่มา: ผู้วิจัย. 2565)

2.4 การออกแบบระบบระบายอากาศ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นพบว่า นอกจากการควบคุมทิศทางอากาศในระบบด้วยการระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนแบบบังคับนั้น ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสมกับพื้นที่ด้วย โดยจากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ประกอบการระบายอากาศเพื่อลดความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคาแบ่งออกเป็น 2 หน้าที่ได้แก่

1. อุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศ (Q)
2. อุปกรณ์กำหนดทิศทางการไหลของอากาศ

โดยต้องคำนึงถึงการลัดวงจรการระบายอากาศ และกฎการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดการสูญเสียความดันในระบบให้มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศสูงสุด

2.4.1 อุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศ

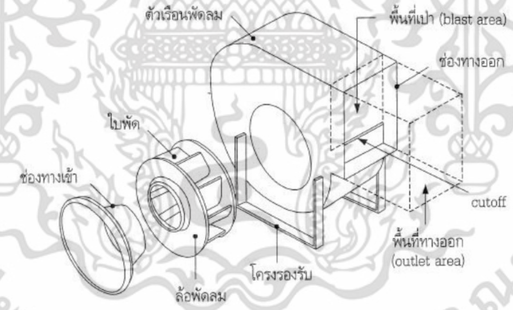
2.4.1.1 พัดลม พัดลมเป็นอุปกรณ์สำคัญที่สุดในการสร้างอัตราการไหลของอากาศ (Q) ในการระบายอากาศใต้หลังคา โดยสำหรับพัดลมระบบระบายอากาศนั้นโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ ได้จากทิศทางการไหลของอากาศผ่านพัดลม ได้แก่ พัดลมแรงเหวี่ยง และพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลมไหลตามแนวแกน ซึ่งความดันของพัดลมนั้นมีลักษณะเดียวกับความดันในระบบระบายอากาศ กล่าวคือมีความสัมพันธ์ระหว่างความดันทั้งสามชนิดคือ ความดันทั้งหมด = ความดันสถิต + ความดันเคลื่อนที่ และความดันทั้งหมดของพัดลม (Fan Total Pressure, FTP) คือพลังงานทั้งหมดที่ระบบต้องการในการทำให้อากาศเคลื่อนผ่านระบบ มีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของความดันทั้งหมดที่ทางออกของพัดลมลบด้วยความดันทั้งหมดที่ทางเข้าของพัดลม นั่นคือ

$$FTP = TP_{out} - TP_{in}$$

พัดลมแรงเหวี่ยงหรือพัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Fan) อาศัยกลไกของแรงเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของใบพัดที่ติดตั้งอยู่บนล้อพัดลม โดยอากาศภายนอกจะถูกดึงเข้าสู่ตัวพัดลมในแนวแกนหมุน และถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้น จากนั้นอากาศจะถูกเหวี่ยงไปปะทะกับตัวเรือนพัดลม (Fan housing) ที่มีลักษณะคล้ายก้นหอย และไหลออกจากพัดลมในแนวรัศมีของใบพัดตั้งฉากกับเพลาของล้อพัดลม โดยพัดลมแรงเหวี่ยงจะลำเลียงอากาศได้ในปริมาณที่น้อย แต่สามารถสร้างความดันสถิตได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับพัดลมไหลตามแนวแกน เหตุนี้พัดลมแรงเหวี่ยงจึงถูกนำมาใช้ในระบบระบายอากาศเฉพาะที่มากกว่าพัดลมไหลตามแนวแกน นอกจากนี้ยังเกิดเสียงน้อยกว่าขณะทำงาน ต้นทุนในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้งานต่ำกว่า



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของพัดลมแรงเหวี่ยง (ที่มา: ฉัตรชัย นิมมล, 2548)

พัดลมไหลตามแนวแกน (Axial Fan) แนวการไหลของอากาศเข้า และออกจากพัดลมขนานกับแกนเพลาของใบพัด จุดเด่นของพัดลมไหลตามแนวแกนคือสามารถลำเลียงอากาศได้ในปริมาณมาก ราคาถูก ขนาดกระทัดรัด และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ข้อจำกัดคือทำงานด้วยความเร็วรอบในการหมุนสูง ส่งผลให้เกิดเสียงดังขณะทำงาน โดยที่พัดลมไหลตามแนวแกนสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- พัดลมแบบใบแฉก (Propeller fan) ใบพัดมีลักษณะเป็นแฉกหมุนอิสระบนแกนเพลา พัดลมชนิดนี้สร้างความดันสถิตได้ต่ำ ๆ (250 Pa) โดยจำนวนใบพัดมีตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไป มักติดกับผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือหลังคาของอาคารสำหรับระบบระบายอากาศแบบเจือจาง มีความไวต่อแรงต้านมาก กล่าวคือ หากเพิ่มแรงต้านเพียงเล็กน้อย อัตราการไหลของอากาศจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

- พัดลมแบบใบแฉกที่ติดตั้งอยู่ในท่อ (Tube axial fan or Duct fan) ใบพัดจะติดตั้งอยู่ในเรือนทรงกระบอก ทำให้อากาศที่ทางเข้า และออกของพัดลมเกิดความผันผวนน้อยลง สามารถสร้างความดันสถิตได้ปานกลาง (500 Pa)

- พัดลมแบบใบแฉกชนิดมีครีบหรือแผ่นปรับทิศทางของอากาศ (Vane axial fan) มีการออกแบบให้ใบพัดมีรูปร่างคล้ายใบพัดของเครื่องบิน บรรจุอยู่ในท่อสั้น ๆ มีแพนหางด้านหลัง ซึ่งช่วยให้อากาศเคลื่อนที่ออกจากพัดลมเป็นลักษณะแนวตรงมากขึ้น มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมไหลตามแนวแกนสองแบบแรก สามารถสร้างความดันสถิตได้สูงสุดถึง 2kPa นิยมใช้กับระบบระบายอากาศที่สะอาด (พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2564)

พัดลมแบบใบแฉก พัดลมแบบใบแฉกที่ติดตั้งอยู่ในท่อ พัดลมแบบใบแฉกชนิดมีครีบ

รูปที่ 2.10 ลักษณะของพัดลมไหลตามแนวแกนชนิดต่าง ๆ

(ที่มา: ฉัตรชัย นิมมล, 2548)

2.4.2 อุปกรณ์กำหนดทิศทางการไหลของอากาศ

2.4.2.1 ระบบท่อ ในการระบายอากาศใต้หลังคานั้น ระบบท่อจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดทิศทางการไหลของอากาศที่แน่นอน ป้องกันการเกิดการลัดวงจรในระบบระบายอากาศ ท่อในระบบระบายอากาศส่วนใหญ่ใช้ท่อหน้าตัดวงกลม (Round Duct) โดยทำจากวัสดุ และขนาดที่แตกต่างกันให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท และพื้นที่นั้น ๆ โดยประเภทท่อหลัก ๆ ได้แก่ ท่อพลาสติก โดดเด่นในเรื่องการไม่ไวต่อการผุกร่อนจากความชื้น มีความต้านทานการไหลผ่านของอากาศน้อย ลดการใช้พลังงานในการทำงานของระบบ, ท่อชุบสังกะสี มักใช้ในโครงสร้างโรงงาน หรืออาคารอุตสาหกรรม เพราะมีความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระแทก วัตถุมีคม และแรงกด,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อแสตนเลส เป็นท่อที่มีความเหนียว แข็งแรงทนทานมากกว่าท่อทั่ว ๆ ไป สามารถทนต่ออุณหภูมิที่หนาวหรือร้อนจัดได้ รวมไปถึงสารเคมี และกัมมันตรังสีได้โดยไม่เสียหาย, ท่อลมอ่อนหรือท่ออลูมิเนียมฟอยด์ มีจุดเด่นในเรื่องของความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง ดัดโค้งงอให้เข้ากับสภาพพื้นที่ได้ง่าย ราคาไม่แพง โดยตัวท่อสามารถใช้ได้ทั้งในงานส่งลมร้อน และลมเย็น จึงเหมาะสำหรับการติดตั้งเพื่อเชื่อมต่อระบบปรับอากาศ หรือระบายอากาศ โดยปกติแล้ว ขนาดของท่อลมระบายอากาศจะอยู่ที่ 4 – 10 นิ้ว (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ยู.ดี. ไอเอิร์น, 2022) หากพิจารณาถึงคุณสมบัติที่กล่าวมา ท่อลมอ่อนหรือท่ออลูมิเนียมฟอยด์จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการนำมาใช้ทดลองในงานวิจัยการลดความร้อนบริเวณพื้นที่ใต้หลังคา เนื่องจากสามารถโค้งงอรูปร่างให้เข้ากับสภาพพื้นที่ใต้หลังคาได้ง่าย เหมาะกับการส่งทั้งลมร้อน และลมเย็น

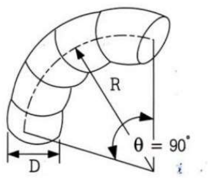
การสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทาน (Friction Loss) เมื่ออากาศไหลผ่านระบบท่อ จะเกิดความต้านทานขึ้นในรูปของความฝืดหรือความเสียดทานระหว่างอากาศ และบริเวณผิวด้านในของท่อ ทำให้ความดันสถิตมีค่าลดลง จึงต้องมีการป้อนพลังงานให้แก่อากาศในระบบท่อเพื่อชนะความต้านทานดังกล่าวด้วยการติดตั้งพัดลมขนาดที่เหมาะสม โดยสำหรับระบบที่ใช้ท่ออ่อน การประเมินค่าความดันสูญเสียของอากาศเนื่องจากความเสียดทานทานได้โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิต

การสูญเสียความดันเนื่องจากความปั่นป่วนในการไหล (Turbulence Loss) ในท่อโค้งท่อที่มีลักษณะโค้งนั้นทำให้อากาศที่ไหลผ่านเปลี่ยนแปลงทิศทาง โดยกระแสอากาศจะถูกเหวี่ยงไปกระทบที่บริเวณขอบนอกของท่อ ส่งผลให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้ความเสียดทานที่เกิดกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดันในระบบ ซึ่งเป็นการสูญเสียความดันเนื่องจากความปั่นป่วนในการไหล โดยสามารถแสดงโดยแฟกเตอร์การสูญเสีย (Loss Factor: F) คูณกับความดันเคลื่อนที่ของอากาศในท่อ (P) แสดงดังสมการ

$$h_L = F\ VP$$

โดยแฟกเตอร์การสูญเสีย (F) จะมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะการไหลของอากาศ โดยการไหลของอากาศผ่านท่อที่มีลักษณะโค้งหน้าตัดวงกลม ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้งขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศในท่อ และรัศมีความโค้งของท่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (R/D) รวมถึงลักษณะท่อโค้งที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้น กล่าวคือยิ่งมีความโค้งมากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเล็ก และมีชิ้นส่วนโค้งน้อย จะสูญเสียความดันมาก (พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

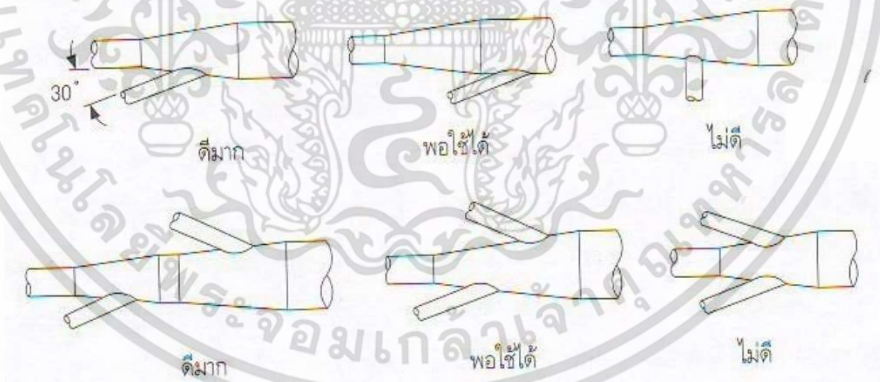


	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor : F)					
R/D	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
ผิวเรียบ	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5 ชิ้น	-	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17
4 ชิ้น	-	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23
3 ชิ้น	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33

หมายเหตุ :
ท่อเลี้ยว 60˚ = 0.67F
ท่อเลี้ยว 45˚ = 0.50F
ท่อเลี้ยว 30˚ = 0.33F

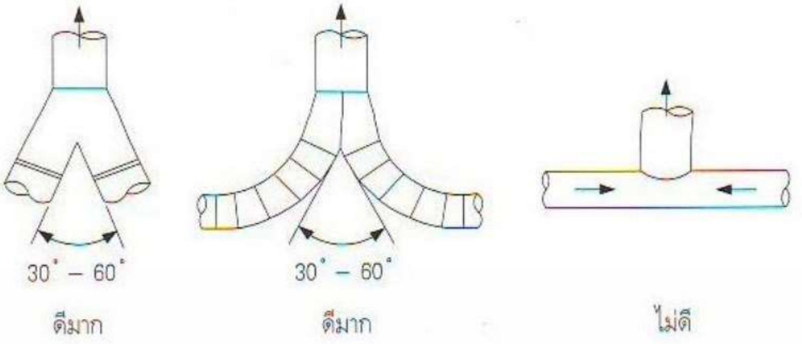
รูปที่ 2.11 แสดงแฟกเตอร์การสูญเสียของท่อโค้งหน้าตัดวงกลม มุมโค้ง 90° (ที่มา: ACGIH, 2004)

ระบบท่อแยก (Branch) ระบบระบายอากาศที่มีฮูดจำนวนมากเชื่อมเข้ากับท่อหลัก (Main Duct) หรือท่อแยก ท่อสาขา โดยอากาศจากท่อแยกนั้นจะถูกดูดไปรวมกับอากาศในท่อหลัก ทำให้เกิดความปั่นป่วนในการไหลเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเร็วของอากาศของท่อหลักและท่อแยก จึงควรรักษาระดับความเร็วของอากาศในท่อให้คงที่ และมีความปั่นป่วนน้อยที่สุด (พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2564) ซึ่งแสดงตัวอย่างประสิทธิภาพการติดตั้งระบบท่อแยกดังรูปที่ 2.12 และ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงการต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลัก (ที่มา: ACGIH, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



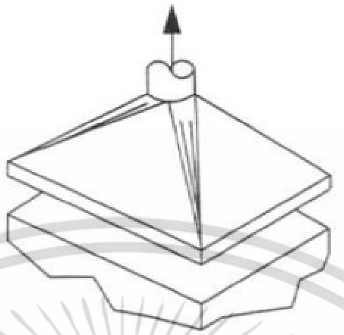
รูปที่ 2.13 แสดงการต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลักในลักษณะสมมาตร (ที่มา: ACGIH, 2004)

ระบบท่อขยาย และท่อลด (Expansion and Contraction) โดยระบบท่อขยาย (Expansion) ถูกนำมาใช้ในกรณีที่จุดเชื่อมต่อท่อต้องการมีขนาดใหญ่กว่าท่อเดิม หรือใช้ลดความเร็วของอากาศที่บริเวณท่อแยก ซึ่งช่วยให้ความต้านทานในระบบลดลง โดยทฤษฎีไม่ควรให้พื้นที่หน้าตัดท่อขยายเพิ่มแบบทันทีทันใด (Abrupt Expansion) เพราะจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนบริเวณหน้าตัดต่อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สูญเสียความดันค่อนข้างมาก และระบบท่อลด (Contraction) ถูกนำมาใช้กรณีที่ต้องลดขนาดของท่อเพื่อต่อเข้ากับอุปกรณ์ในระบบหรือต้องการเพิ่มความเร็วของอากาศที่ทางออกของปล่องระบายเพื่อให้อากาศสามารถไหลออกจากปล่องได้ในระยะที่ต้องการ ในทางปฏิบัติควรหลีกเลี่ยงการลดลงของพื้นที่หน้าตัดท่ออย่างทันทีทันใด (Abrupt Contraction) ซึ่งทำให้สูญเสียความดันค่อนข้างมากซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของมุมลด

2.4.2.2 ฮูด การศึกษาการสูญเสียความดันในระบบท่อพบว่า การขยายขนาด หรือลดขนาดทางเดินอากาศในระบบแบบทันทีทันใด (Abrupt Expansion and Abrupt Contraction) นั้นจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนบริเวณหน้าตัดท่อ และสูญเสียความดันค่อนข้างมาก ซึ่งการระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคานั้นเป็นการดึงอากาศจากภายนอกเข้ามาในพื้นที่ใต้หลังคา และใช้พัดลมดึงอากาศผ่านระบบท่อออกสู่ภายนอกเพื่อแลกเปลี่ยนอากาศ และลดอุณหภูมิ จึงสามารถนับได้ว่าสภาพพื้นที่ภายในหลังคานั้นเป็น 1 ในทางเดินของอากาศ จึงไม่ควรมีการย่อขนาดแบบทันทีทันใดจากสภาพพื้นที่เปิดโล่งใต้หลังคาสู่ท่อขนาดเล็ก ซึ่งฮูดนั้นจึงเป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ค่อย ๆ ลดขนาดทางเดินอากาศ (Contraction) ลงมาก่อนเข้าสู่ระบบท่อ ซึ่งอาจสามารถลดความปั่นป่วนของอากาศบริเวณทางเข้าหน้าตัดท่อได้ ซึ่งฮูดฝาครอบ (Canopy Hood) เป็นฮูดภายนอกที่ใช้ในกรณีต้องการรวบรวมอากาศหรือสารปนเปื้อนในทิศทางที่ลอยขึ้นด้านบน มักเกี่ยวข้องกับความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิสูงจะลอยขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งฮูดลักษณะนี้สอดคล้องกับงานวิจัย กล่าวคือ มวลอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนนั้นจะลอยขึ้นสู่ด้านบนโดยอยู่บริเวณสันหลังคามากที่สุด ฮูดชนิดนี้จึงทำหน้าที่รวบรวมอากาศร้อนก่อนเข้าสู่ระบบท่อ



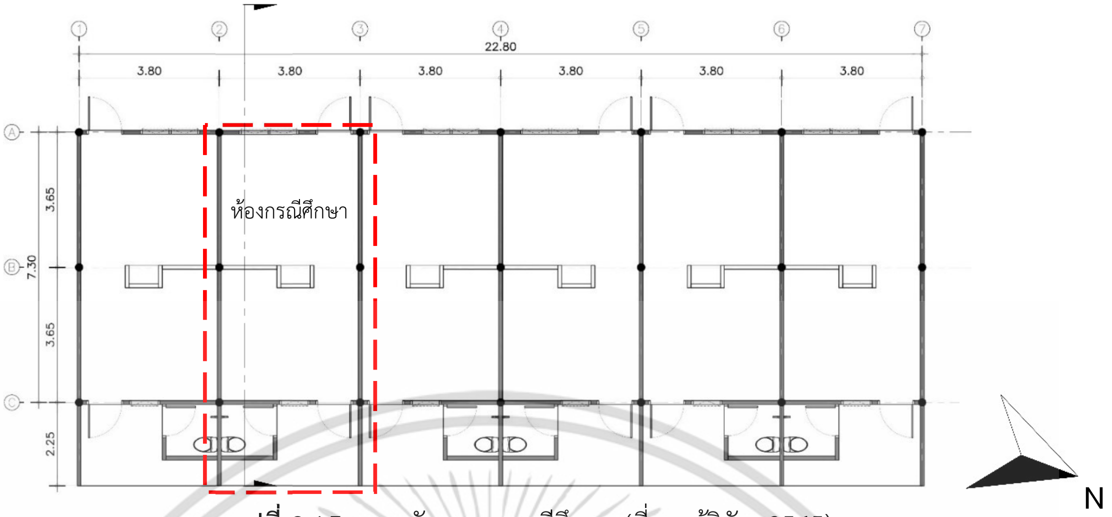
รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะฮูดฝาครอบ (ที่มา: ACGIH, 2004)

2.4.2.3 ช่องเปิดอากาศ คือการเปิดพื้นที่ทางฝ้าชายคา หรือบริเวณหน้าจั่วหลังคาตามความเหมาะสมของโครงสร้าง และสภาพพื้นที่เพื่อกำหนดทิศทางการระบายอากาศเข้า และออกของอากาศ และมีผลต่อค่า A กล่าวคือยิ่งช่องเปิดมีขนาดใหญ่ ก็สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนอากาศได้มากและสามารถลดความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคาได้มากขึ้น

2.4.3 อาคารกรณีศึกษา

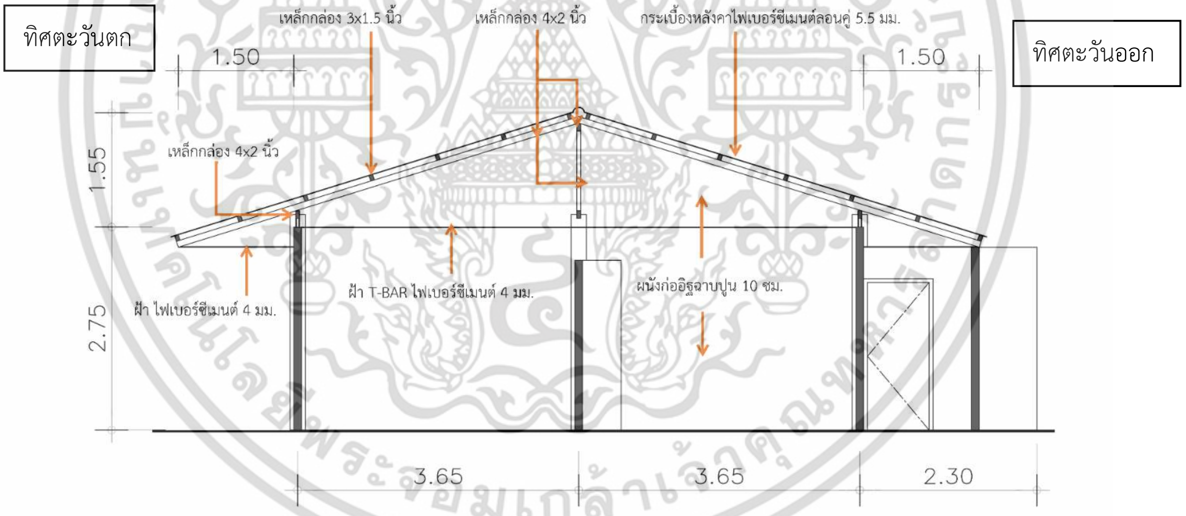
จากการศึกษาพบว่าการป้องกันการลัดวงจรการระบายอากาศนั้นต้องควบคุมทิศทางการไหลของอากาศควบคู่ไปกับการใช้พัดลมระบายอากาศเข้าช่วย และลดพลังงานสูญเสียในรูปแบบของความดันให้มากที่สุด ซึ่งการติดตั้งระบบระบายอากาศในการศึกษางานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกบ้านแถวห้องที่มีลักษณะปิดล้อมด้วยผนังทั้งสองด้านของตัวอาคารเพื่อทำการศึกษา โดยอาคารมีพื้นที่ห้องขนาด 28 ตารางเมตร ปริมาตรอากาศภายในห้อง 72.3 ลูกบาศก์เมตร และปริมาตรอากาศภายในบริเวณใต้หลังคา 16.12 ลูกบาศก์เมตร แสดงผังอาคารดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงผังอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

วัสดุโครงสร้างของอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ ไม่มีฉนวนกันความร้อน ฝ้าเพดานแขวน (ทีบาร์) ยิปซัมบอร์ด ผนังห้องก่ออิฐบล็อคฉาบปูน แสดงดังภาพที่ 2.16



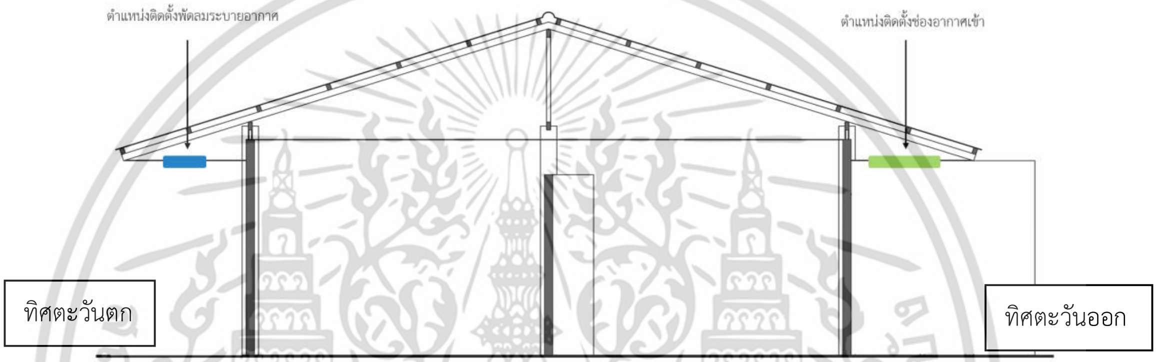
รูปที่ 2.16 แสดงรูปตัด และวัสดุโครงสร้างอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

2.4.4 การติดตั้งระบบระบายอากาศ

จากการสำรวจโครงสร้าง พบว่าการติดตั้งระบบระบายอากาศนั้นควรเป็นรูปแบบการระบายอากาศ ทางฝ้าชายคาเนื่องจากการระบายอากาศออกทางสันหลังคาซึ่งเป็นจุดที่มีความร้อนสะสมสูง และมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงนั้นอาจเกิดปัญหาการรั่วซึมจากน้ำฝน และบำรุงรักษาได้ยาก

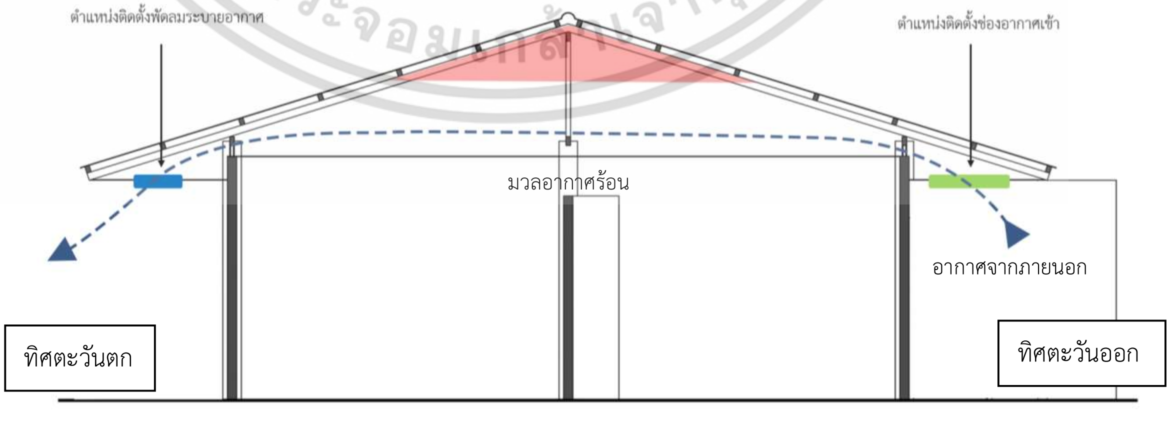
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งนั้น ควรติดตั้งตำแหน่งช่องอากาศเข้าเป็นฝ้าชายคาในทิศตะวันออก จากสมการการทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling) ซึ่งต้องอาศัยการดึงอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ดังสมการ $q_s = 60 Q \rho C_p \Delta T$ ซึ่งอุณหภูมิอากาศทางทิศตะวันออกนั้นย่อมต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในทิศตะวันตกซึ่งได้รับแสงอาทิตย์มากกว่าในช่วงที่ร้อนที่สุดของวัน หรือประมาณ 12.00 – 16.00 น. และติดตั้งพัดลมในทิศตะวันตก โดยป้องกันอากาศร้อนไหลกลับเข้าสู่ใต้หลังคาโดยการสำรวจรอยรั่วบริเวณฝ้าชายคาทิศตะวันตก และไม่ติดตั้งช่องอากาศเข้า แสดงตำแหน่งการติดตั้ง ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศ และตำแหน่งอากาศเข้า (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

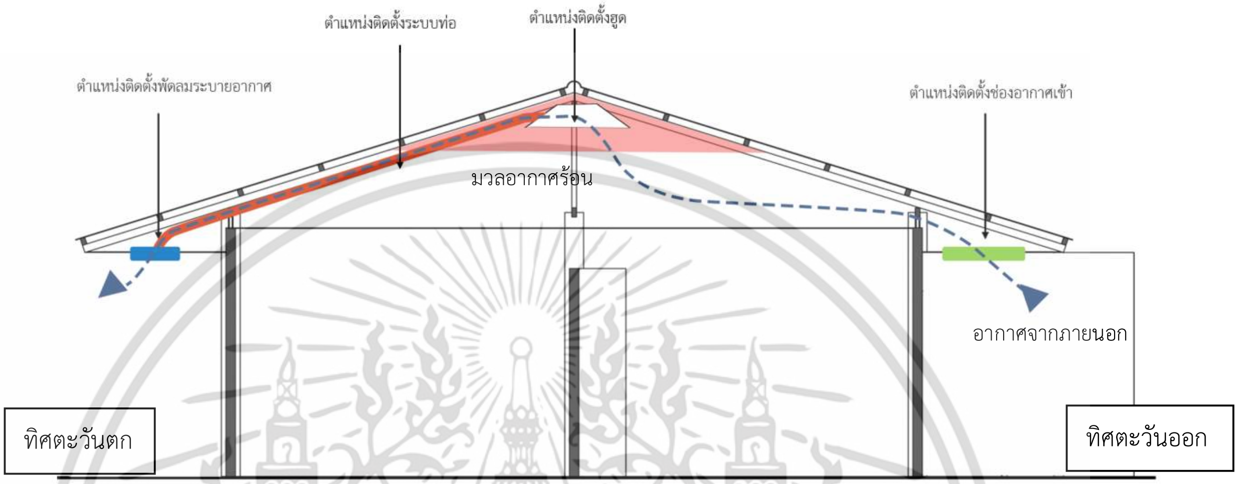
อากาศร้อนจะสะสมอยู่บริเวณใกล้กับสันหลังคามากที่สุดจากการยกตัวขึ้นของอากาศร้อน จึงเป็นบริเวณที่ต้องดึงมวลอากาศร้อนออกสู่ภายนอกให้ได้มากที่สุด ซึ่งจากทฤษฎีการลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting) อากาศจะเคลื่อนที่เข้า และออกในตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดหากไม่มีการติดตั้งระบบท่อดังภาพที่ 2.18 ทำให้แก้ปัญหาความร้อนได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.18 แสดงการเกิด Ventilation Short Circuiting ในอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีการสูญเสียความดันในระบบ การติดตั้งระบบท่อ และฮูดเพื่อกำหนดทิศทางการไหลของอากาศ จึงควรเป็นระบบท่อเดียว และโค้งงอให้น้อยที่สุดเพื่อลดการสูญเสียความดัน แสดงตำแหน่งการติดตั้งระบบระบายอากาศในอาคารกรณีศึกษาดังรูปที่ 2.19

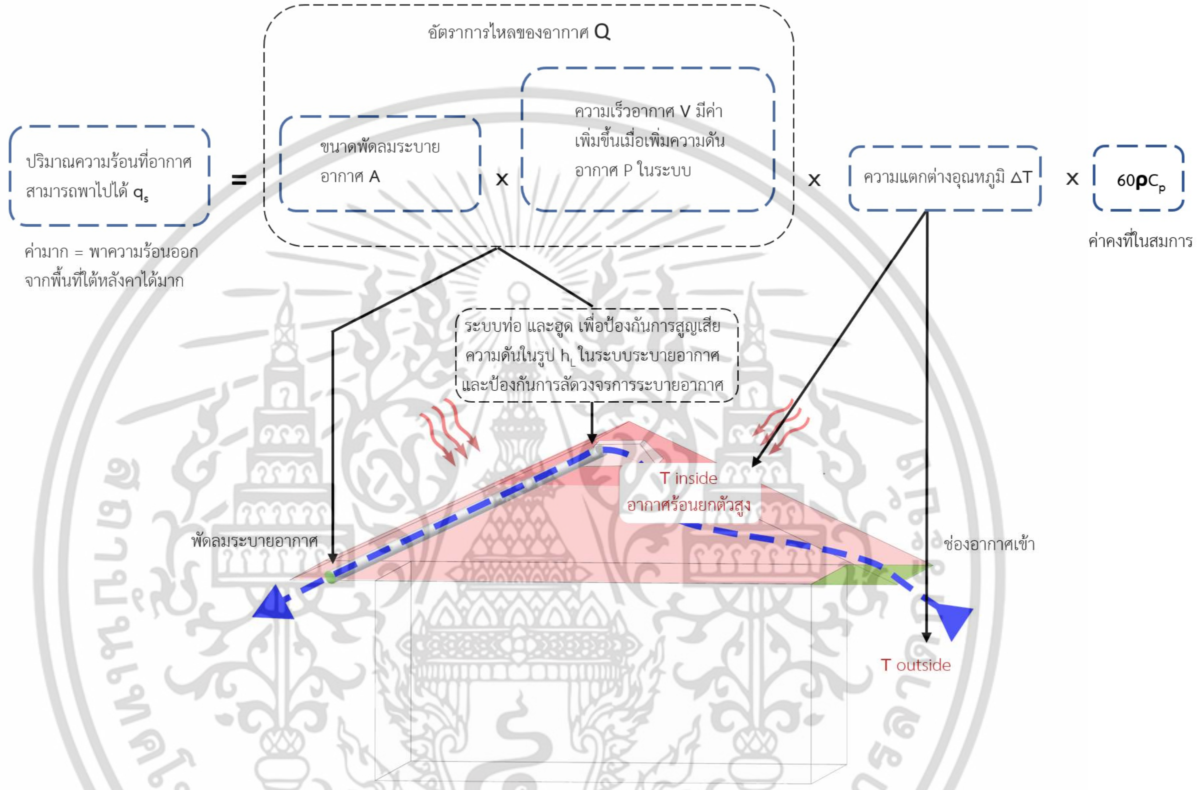


รูปที่ 2.19 แสดงตำแหน่งการติดตั้งระบบระบายอากาศในอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กรอบแนวคิด

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาพื้นที่จริงในอาคารกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงสรุปกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัยดังรูปที่ 2.20



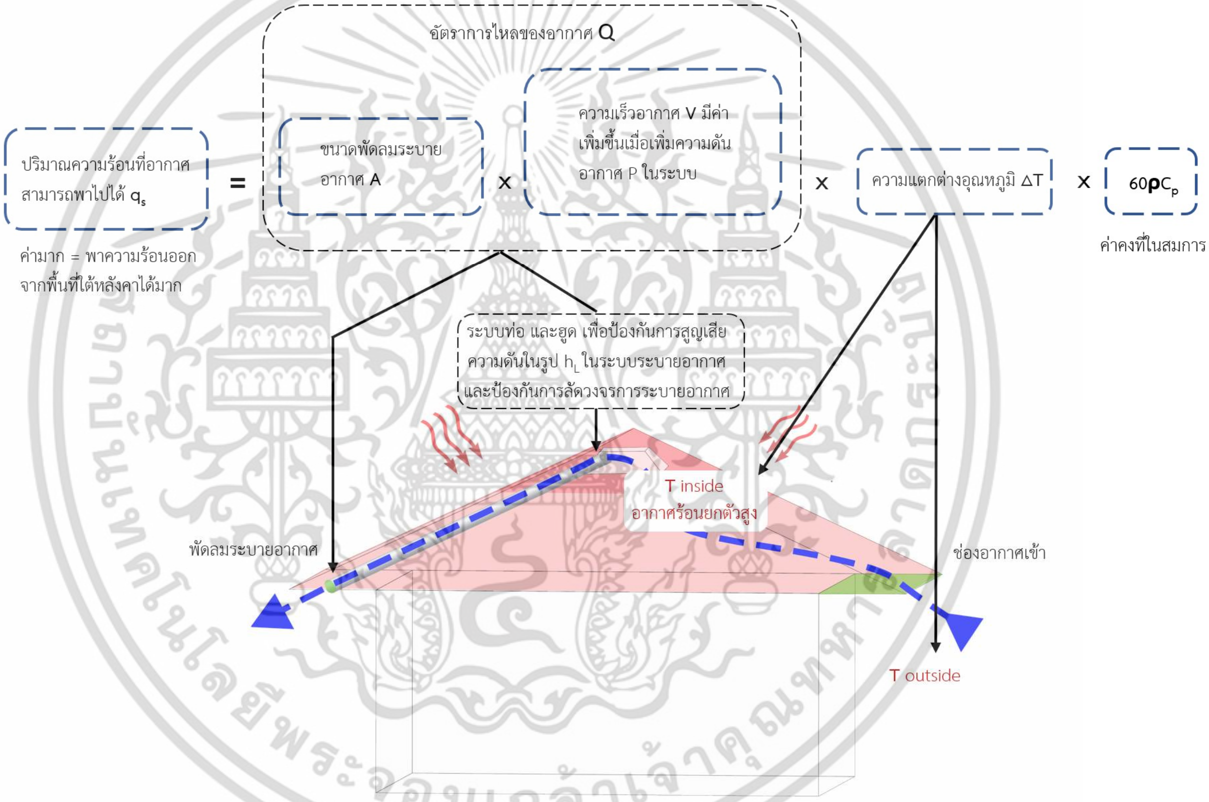
รูปที่ 2.20 แสดงกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย

(ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย และการสร้างเครื่องมือ

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาพื้นที่จริงในอาคารกรณีศึกษา นำไปสู่การกำหนดวิธีวิจัย เครื่องมือ และวัตถุดิบของการศึกษาวิจัย “การลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับกรณีศึกษา : อาคารบ้านแถวชั้นเดียวในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา” ดังต่อไปนี้ อ้างอิงจากรูปที่ 2.20 แสดงกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.1 แสดงกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

จากกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย พบว่าอัตราการไหลของอากาศ (Q) เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ผ่านการออกแบบระบบระบายอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษาเบื้องต้น และกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ในระบบระบายอากาศ ก่อนนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

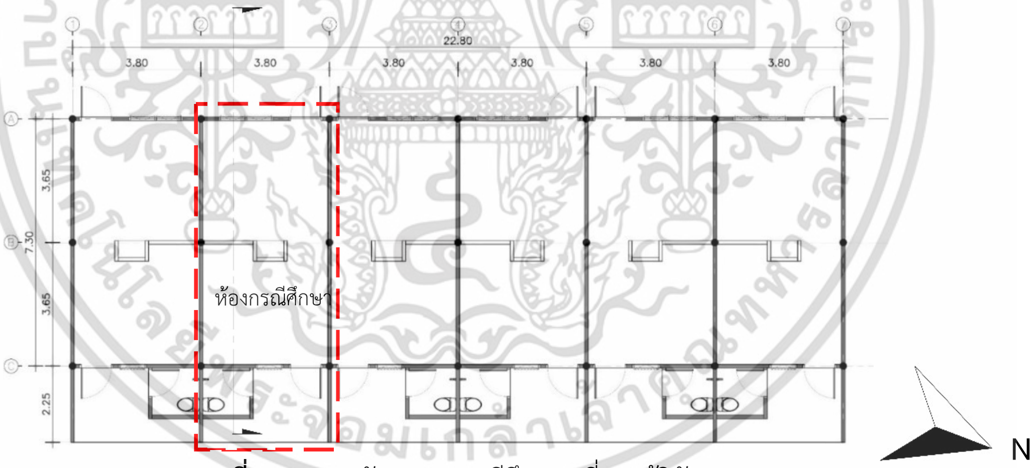
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเก็บข้อมูลในอาคารกรณีศึกษา

การหาข้อมูลในอาคารกรณีศึกษา ผู้วิจัยจำเป็นต้องทราบข้อมูลเพื่อกำหนดตัวแปรต่าง ๆ เพื่อสร้างสภาวะการณ์จำลองโดยการใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย ได้แก่ การเก็บข้อมูลการก่อสร้างอาคารเพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจรการระบายอากาศ และ การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร

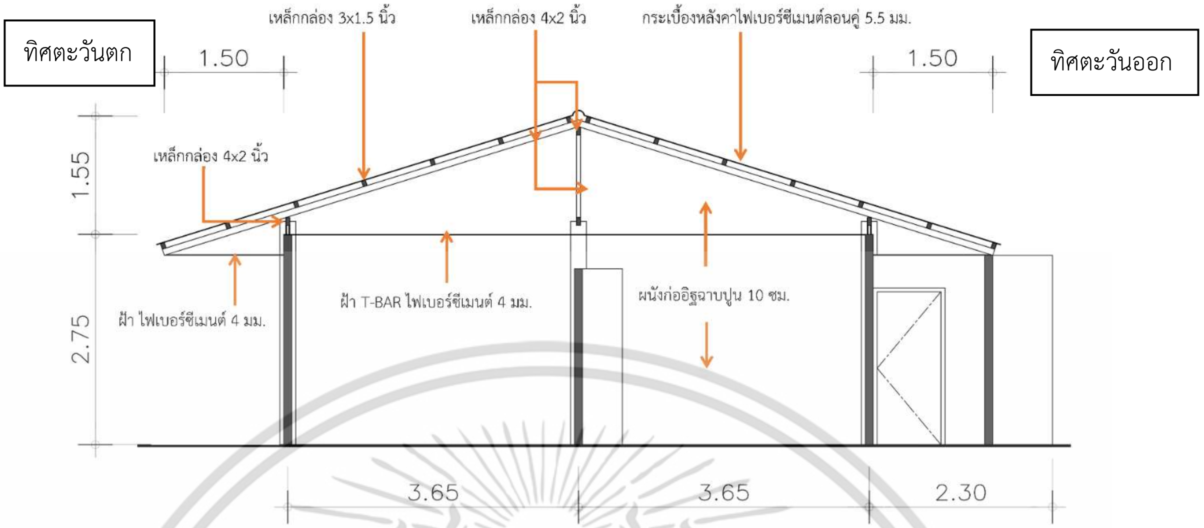
3.1.1 การเก็บข้อมูลอาคารเพื่อกำหนดขอบเขตงานวิจัย

อ้างอิงจากหัวข้อที่ 2.3.1 การลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting) คือสิ่งที่ต้องคำนึงเมื่อติดตั้งระบบระบายอากาศ โดยการลัดวงจรนั้นเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ใต้หลังคา เมื่ออากาศไม่เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งโดยปกติแล้วการระบายอากาศใต้หลังคาจะเป็นการให้อากาศเข้าไปบริเวณทางเข้า และทางออกที่กำหนดไว้เพื่อนำความร้อนออกสู่ภายนอก และเติมอากาศที่มีอุณหภูมิเย็นกว่าเข้าสู่ใต้หลังคา จึงจำเป็นต้องศึกษาพื้นที่จริงเพื่อป้องกันการลัดวงจรการระบายอากาศ รวมถึงกำหนดขอบเขตพื้นที่อากาศในการศึกษา



รูปที่ 3.2 แสดงผังอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงรูปตัด และวัสดุโครงสร้างอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

รูปที่ 3.4 แสดงพื้นที่จริงภายนอกอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร

ผู้วิจัยได้หาค่าเฉลี่ยสูงสุดของอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ในอาคารเพื่อกำหนดตัวแปรควบคุม ด้วยการวัดอุณหภูมิในช่วงเวลา 14.00 – 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากพื้นโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ในระหว่างที่ดวงอาทิตย์ขึ้น พื้นโลกจะดูดซับพลังงานความร้อนนั้นไว้จนกระทั่งมีการดูดซับพลังงานความร้อนไว้มากที่สุดคือช่วงบ่าย (trueplookpanya.com, 2562) เพื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ได้เพื่อจำลองสถานการณ์ที่อาคารกรณีศึกษามีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเบื้องต้น ผู้วิจัยแบ่งการวัดอุณหภูมิออกเป็น 2 จุด ได้แก่

1) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก ระดับความสูงจากพื้นดิน 150 ซม. (ระดับสายตา)
2) อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา)

ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองจุดนี้สามารถแทนตัวแปรควบคุมเพื่อกำหนดอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความร้อนภายในอาคาร โดยจุดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออกนั้นแทนอากาศภายนอกที่ระบบระบายอากาศ จะนำเข้าสู่พื้นที่ใต้หลังคาเพื่อแลกเปลี่ยนอากาศ และลดความร้อน โดยทำการวัดในทุก ๆ 15 นาที และอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ในเวลา 14.00 และ 16.00 น. รวม 2 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ยทั้งหมด 2 วันในวันที่สภาพอากาศคล้ายคลึงกัน ไม่มีเมฆ และฝน เพื่อหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในช่วงที่ร้อนที่สุดของวัน โดยบันทึกในตารางตัวอย่างที่ 3.1 กำหนดให้พื้นที่ห้องภายในอาคารปิดหน้าต่าง และประตูทั้งหมดเพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศภายในห้องซึ่งทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

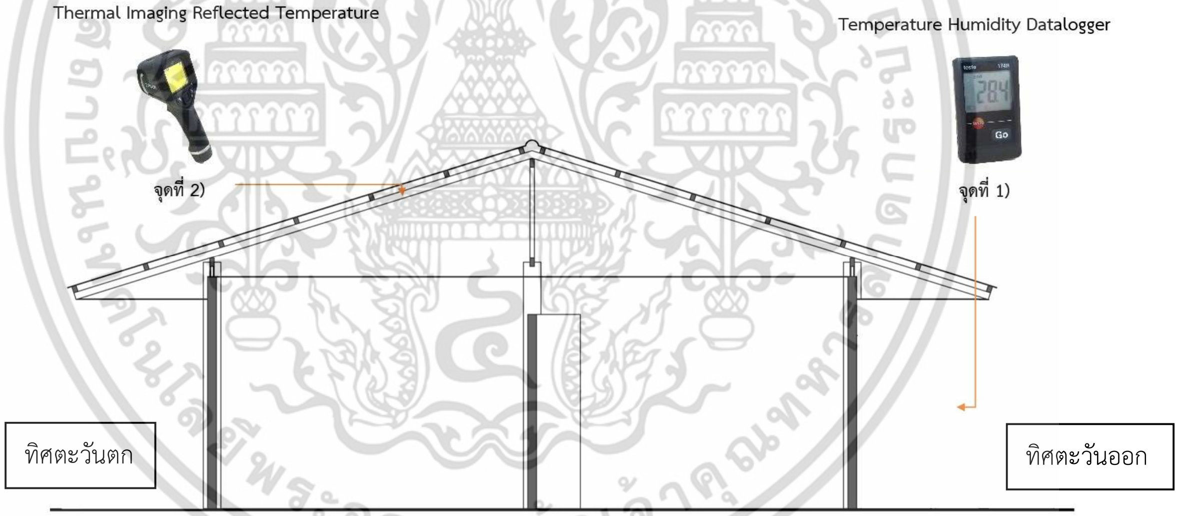
ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกอุณหภูมิในแต่ละจุดเพื่อกำหนดตัวแปรควบคุม

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ในแต่ละจุดเวลา										อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) (°C)		
	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	$\bar{X}$ (SD)	14:00	16:00	$\bar{X}$ (SD)
1													
2													
$\bar{X}$ (SD)													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิอาคารกรณีศึกษา

เครื่องมือ		
ภาพ	รายละเอียด	จุดที่วัดอุณหภูมิ (°C)
ภาพจาก: ผู้วิจัย	เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น Temperature Humidity Datalogger รุ่น TESTO 174H สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ	1) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก
ภาพจาก: ผู้วิจัย	เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ Thermal Imaging Reflected Temperature รุ่น FLIR E5 สำหรับถ่ายภาพเพื่อวัดอุณหภูมิผิววัสดุกระเบื้องหลังคา	2) อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา)



รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

3.1.3 การกำหนดอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศ

จากหัวข้อที่ 2.4 การออกแบบระบบระบายอากาศ สามารถกำหนดได้ว่าอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศนั้นประกอบด้วย

1) อุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศ (Q)

2) อุปกรณ์กำหนดทิศทางการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อระบบระบายอากาศนั้นได้แก่ พัดลม, ระบบท่อ, ฮูด และช่องเปิดให้อากาศภายนอกเติมเข้าสู่ระบบ โดยจากการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาผลลัพธ์การระบายอากาศที่เหมาะสมที่สุดจากสมการการทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling) ซึ่งเป็นวิธีการทำความเย็นให้กับอาคารโดยดึงอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า โดยอัตราการเคลื่อนย้ายความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนมีสูตรที่ใช้ในการ ดังสมการ

$$q_s = 60\ Q\ \rho C_p\ \Delta T$$

ซึ่ง q_s คือ ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu / h) แปลว่าถ้ายิ่งมีค่า q_s มากเท่าไหร่ ก็จะทำความเย็นได้มากขึ้น ซึ่งแปรผันตรงกับตัวแปรได้แก่ Q อัตราการไหลของอากาศ (cfm), ρ ความหนาแน่นของอากาศ (lbm / ft^3) มีค่าประมาณ 0.075 lbm / ft3, Cp ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu / lb ^oF) ค่าประมาณ 0.24 Btu / lb ^oF และ ΔT ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก (^oF) โดยจะเห็นได้ว่า ตัวแปร ρ และ C_p นั้นเป็นตัวแปรที่มีค่าคงที่ ΔT นั้นได้จากการวัดอุณหภูมิในพื้นที่จริงซึ่งเป็นค่าคงที่เช่นกัน จึงทำให้ Q เป็นตัวแปรซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อ q_s

จากสมการ Q = AV (2.1) แปลว่าตัวแปรที่ส่งผลให้ Q มีค่ามากขึ้น คือ A (m^2) พื้นที่หน้าตัดระบายอากาศ และ V (m/s) อัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A โดยที่พื้นที่ตัวแปรที่มีผลต่อพื้นที่หน้าตัด (A) ในงานงานวิจัยนี้ได้แก่ ขนาดพัดลม และขนาดท่อ รวมถึงขนาดพื้นที่ช่องเปิดให้อากาศเข้า โดยทำให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในพื้นที่จริง และตัวแปรที่มีผลต่ออัตราเร็ว (V) ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ฮูด ระบบท่อซึ่งสามารถเกิดการสูญเสียความดัน (h_L) จาก กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$SP_1 + VP_2 = SP_1 + VP_2 + h_L$$

ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ (V) ทำให้ประสิทธิภาพในการนำความร้อนออกสู่ภายนอก (q_s) ลดลงได้ อ้างอิงจากสมการของเบอร์นุลลี (Bernoulli's Equation)

$$\frac{p_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}+Z_1=\frac{p_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+Z_2$$

จากข้อมูลการวิเคราะห์สมการ และกรอบแนวคิดงานวิจัย ผู้วิจัยได้พิจารณาเกณฑ์การเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศ ดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงเกณฑ์การเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศ

อุปกรณ์	ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในสมการ	เกณฑ์การพิจารณา
พัดลมระบายอากาศ	Q หรืออัตราการไหลของอากาศที่สามารถพาปริมาณความร้อนไปได้ (Btu / h) A คือขนาดพัดลม และ V คือความเร็วลมจากการสร้างความดันของพัดลม	1) สามารถสร้างอัตราการไหล Q ได้มาก (CFM) 2) ขนาดเดียวกับระบบท่อ 3) ราคาต่ำ 4) ติดตั้งกับฝ้าชายคาได้ง่าย
ระบบท่อ	A หรือพื้นที่ทางเดินอากาศซึ่งสัมพันธ์กับขนาดพัดลมระบายอากาศ	1) ขนาดสัมพันธ์กับพัดลมระบายอากาศ 2) โค้งงอได้ ติดตั้งสะดวก 3) น้ำหนักเบา 4) วัสดุไม่กักเก็บความร้อน
ฮูด	ลดการเกิด h_L หรือการสูญเสียความดันในระบบในบริเวณทางเข้าระบบท่อ	1) น้ำหนักเบา 2) วัสดุไม่กักเก็บความร้อน
ช่องเปิดอากาศเข้า	A หรือพื้นที่ทางเดินอากาศเพื่อนำอากาศเย็นเข้าสู่พื้นที่ใต้หลังคา	1) สามารถกันสัตว์ หรือแมลงขนาดเล็กได้ 2) ติดตั้งได้สะดวกกับพื้นที่จริง

จากเกณฑ์การพิจารณา ผู้วิจัยได้เลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศเพื่อสร้างตัวแปรสำหรับกำหนดเงื่อนไขตั้งต้นแบบต่าง ๆ ในการทดสอบ ดังนี้

1) พัดลมระบายอากาศ

พัดลมไหลตามแนวแกน (Axial Fan) ขนาด 4 นิ้ว คำนึงถึงขนาด ราคา การเชื่อมต่อกับระบบท่อ และการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งขนาดเหมาะสมสำหรับการติดตั้งในพื้นที่จริงได้เนื่องจากมีพื้นที่ติดตั้งท่อ 4.5 นิ้ว ทำให้ขนาดท่อในระบบมีขนาดใหญ่ที่สุดได้ที่ 4 นิ้ว จึงต้องใช้พัดลมขนาดเดียวกับระบบท่อ ตำแหน่งติดตั้งที่บริเวณด้านนอกตัวอาคาร เนื่องจากสามารถดูแล ซ่อมบำรุงได้ง่าย หลีกเลี่ยงการติดตั้งบริเวณพื้นที่ใต้หลังคาที่มีความร้อนสูงเพื่อยืดอายุการใช้งาน โดยผู้วิจัยได้เลือกพัดลมระบายอากาศ SEAFLO ขนาด 4 นิ้ว 12V มีอัตราการไหลเชิงปริมาตร อยู่ที่ 236 CFM ซึ่งมีอัตราที่มากเมื่อเทียบกับพัดลมขนาด 4 นิ้วรุ่นอื่น ๆ และมีรูปแบบฐานเหมาะสมกับการติดตั้ง

รูปที่ 3.6 แสดงพัดลมระบายอากาศ SEAFLO ขนาด 4 นิ้ว (ที่มา: lazada.co.th/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระบบท่อ

การติดตั้งนั้นควรใช้ระบบท่อแบบท่อเดี่ยวเพื่อลดการสูญเสียความดัน (h_L) จากระบบท่อแยก โดยใช้ท่ออลูมิเนียมฟอยด์ในระบายอากาศเนื่องจากมีน้ำหนักเบา สามารถลำเลียงได้ทั้งอากาศร้อน และอากาศเย็น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ท่ออลูมิเนียมฟอยด์ขนาด 4 นิ้ว เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งในพื้นที่จริงซึ่งมีช่องว่างสำหรับการติดตั้งท่ออยู่ที่ 4.5 นิ้ว โดยติดตั้งขนานกับองศาของหลังคาเพื่อลดความยาว และข้องอ รวมถึงมีขนาดเดียวกับพัดลมไม่ให้เกิดการเปลี่ยนขนาดของท่อ เพื่อลดการสูญเสียความดัน (h_L) ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เป็นระบบท่อเดี่ยว พัดลม 1 ตัว เท่านั้น เนื่องจากพื้นที่การทดลองมีปริมาตรอากาศไม่มาก รวมทั้งความสะดวกในการติดตั้ง ลดความซับซ้อนของระบบ และควบคุมงบประมาณ

รูปที่ 3.7 แสดงท่ออลูมิเนียมฟอยด์ (ที่มา: tmtduct.com)

3) ฮูด

ฮูดฝาครอบสำหรับติดตั้งบริเวณด้านบนใกล้บริเวณสันหลังคา ซึ่งเป็นบริเวณที่ความร้อนเคลื่อนที่ขึ้นสะสม ฮูดจึงควรมีลักษณะฐานกว้าง และฝาแคบเพื่อกำหนดทิศทางการไหลของอากาศให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนก่อนเข้าสู่ระบบท่อให้น้อยที่สุด ใช้วัสดุฮูดเป็นไม้อัดเนื่องจากมีค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่ต่ำ ติดตั้งสะดวกและมีความแข็งแรง เนื่องจากไม่สามารถคำนวณประสิทธิภาพในการช่วยลดการสูญเสียความดัน h_L ในระบบได้แน่ชัด จึงต้องการทดสอบในหลายรูป ดังนี้

- แบบที่ 1 ฮูดฝาครอบแบบปกติ (เปิดด้านล่าง)
- แบบที่ 2 ฮูดฝาครอบเปิดสองด้าน (เปิดด้านล่าง และด้านบน)
- แบบที่ 3 ไม่มีฮูดในระบบ

4) ช่องเปิดอากาศเข้า

ช่องเปิดให้อากาศภายนอกเติมเข้าสู่ระบบ โดยใช้วัสดุเป็นฝ้าระบายอากาศสมาร์ทบอร์ด โดยกำหนดให้ติดตั้งอยู่บริเวณฝ้าชายคาทางด้านหลังของอาคาร ซึ่งมีผลกระทบจากความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อยเนื่องจากอยู่ในทิศตะวันออก เพื่อดึงอากาศภายนอกที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จากทฤษฎีการทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling) ช่องเปิดขนาดใหญ่จะสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดึงอากาศเข้าได้มาก และสามารถลดความร้อนได้มากกว่าช่องเปิดขนาดเล็ก จึงได้กำหนดขนาดช่องเปิดที่แตกต่างกันอ้างอิงจากพื้นที่ติดตั้งในสถานที่จริง ดังนี้

- แบบที่ 1: 365 ตร.ซม. อ้างอิงจากขนาดพื้นที่เปิดช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด เอสซีจี รุ่นเซาะร่อง 3 นิ้วระบายอากาศ ขนาด 60x120x0.4 ซม. 1 แผ่น

- แบบที่ 2: 730 ตร.ซม. อ้างอิงจากขนาดพื้นที่เปิดช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด เอสซีจี รุ่นเซาะร่อง 3 นิ้วระบายอากาศ ขนาด 60x120x0.4 ซม. 2 แผ่น

- แบบที่ 3: 78.5 ตร.ซม. อ้างอิงจากขนาดพื้นที่หน้าตัดท่ออลูมิเนียมฟอยด์ขนาด 4 นิ้ว แทนพื้นที่ช่องเปิดขนาดเล็ก หรือขนาด 1:1 กับพื้นที่อากาศออก

- แบบที่ 4: 2500 ตร.ซม. แทนพื้นที่ช่องเปิดขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาการเปิดรับอากาศเข้าในปริมาณที่มาก

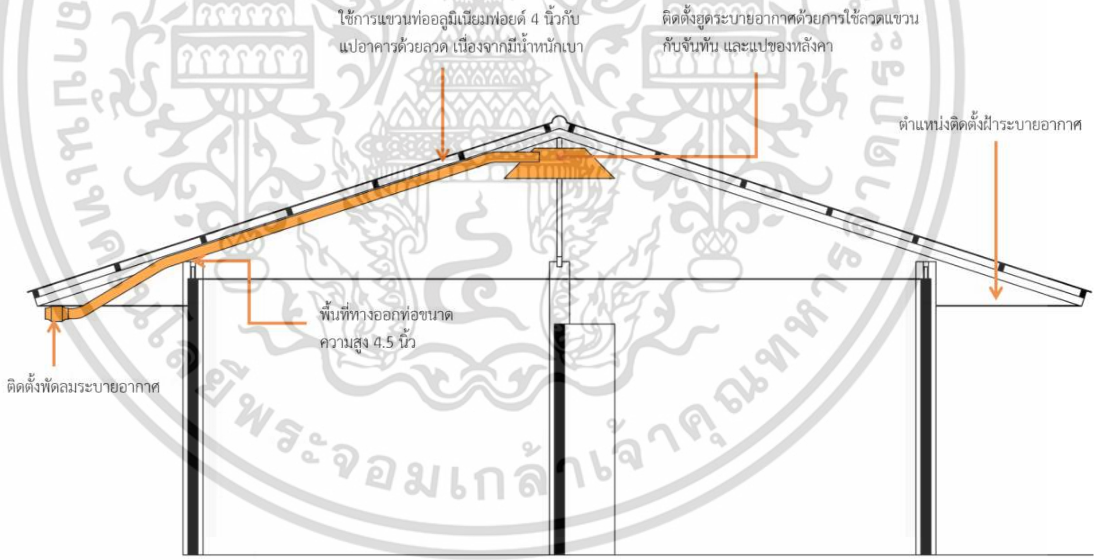
รูปที่ 3.8 แสดงช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด เอสซีจี รุ่นเซาะร่อง 3 นิ้วระบายอากาศ
(ที่มา: scgbuildingmaterials.com)

สามารถสรุปการเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศเพื่อกำหนดตัวแปรต้น และต้นแปรควบคุมได้ดังตารางที่ 3.4 และจำลองการติดตั้งระบบในพื้นที่จริงดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงการเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศเพื่อกำหนดตัวแปรต้น และต้นแปรควบคุม

อุปกรณ์	รายละเอียด	รูปแบบการติดตั้ง	ตัวแปร
พัดลมระบายอากาศ	พัดลมระบายอากาศ SEAFLO ขนาด 4 นิ้วอัตราการไหลเชิงปริมาตร 236 CFM	1 ตัว บริเวณฝ้าชายคาทิศตะวันตก	**ตัวแปรควบคุม**
ระบบท่อ	ท่ออลูมิเนียมฟอยด์ขนาด 4 นิ้ว	ระบบท่อเดี่ยว	**ตัวแปรควบคุม**
ฮูด	ฮูดฝาครอบไม้อัด	- แบบที่ 1 ฮูดฝาครอบแบบปกติ (เปิดด้านล่าง) - แบบที่ 2 ฮูดฝาครอบเปิดสองด้าน (เปิดด้านล่าง และด้านบน) - แบบที่ 3 ไม่มีฮูดในระบบ	**ตัวแปรต้น**
ช่องเปิดอากาศเข้า	ฝ้าระบายอากาศสมาร์ทบอร์ด	- แบบที่ 1: 365 ตร.ซม. - แบบที่ 2: 730 ตร.ซม. - แบบที่ 3: 78.5 ตร.ซม. - แบบที่ 4: 2500 ตร.	**ตัวแปรต้น**



รูปที่ 3.9 แสดงการจำลองการติดตั้งระบบระบายอากาศในพื้นที่จริง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาความร้อนในสถานที่จริง จึงหลักเลี่ยงข้อจำกัดในส่วนของเวลา และต้นทุนการวิจัย โดยจากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมข้างต้น และอ้างอิงจากกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีในการทดลอง ดังตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีในการทดลอง

วิธีการหาค่าของอุณหภูมิที่ลดลง	ความสามารถในการหาอุณหภูมิที่ลดลง	หมายเหตุ
สร้างในพื้นที่จริง	หาได้	ใช้เวลามาก ค่าใช้จ่ายสูง
คำนวณด้วยสมการ	ไม่ได้	สามารถคำนวณสมการพื้นฐานได้เท่านั้น
ใช้โปรแกรมสร้างสภาวะการณ์จำลอง	หาได้	สามารถคำนวณสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ และไฟไนต์วอลุมที่ซับซ้อน และแสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งจำลองจากสถานที่จริง

จากตารางที่ 3.5 ผู้วิจัยสรุปได้ว่าจะทำการสร้างสภาวะการณ์จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลการ Simulations ที่เหมาะสมที่สุด โดยอ้างอิงโครงสร้าง และอุณหภูมิภายก่อนนำแบบจำลองที่ได้ไปสร้างจริงในพื้นที่อาคารกรณีศึกษาเพื่อตอบวัตถุประสงค์งานวิจัย และบันทึกผลลัพธ์

3.2 การสร้างเครื่องมือสำหรับออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมการจำลองสภาพการไหลโดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computation Fluid: Incompressible Flow)

หลังจากทราบอุณหภูมิ วัสดุ และอุปกรณ์ประกอบระบบระบายอากาศที่จำทำการติดตั้งในอาคารกรณีศึกษา การทำการวิจัยในขั้นตอนนี้เพื่อที่จะเพิ่มระดับความเข้าใจถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศบริเวณใต้หลังคา และความสามารถในการลดอุณหภูมิหลังติดตั้งระบบระบายอากาศ โดยใช้ความสามารถของโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations สร้างแบบจำลองในการระบายอากาศเบื้องต้น และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิในพื้นที่ใต้หลังคาเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุด ก่อนนำไปสร้างในพื้นที่จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation

โซลิดเวิรกส์ (SolidWorks) เป็นซอฟต์แวร์เพื่อการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-Aided Design, CAD) และการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (CAE, Computer-Aided Analysis) มีจุดประสงค์เพื่อการออกแบบงานต่าง ๆ บนคอมพิวเตอร์โดยมีศักยภาพการสร้างรูปร่างใน 3 มิติได้อย่างสมจริง วิเคราะห์ชิ้นงานด้วยการใช้ CAE โดยตั้งอยู่บนวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และไฟไนต์วอลุมเป็นหลัก แนวคิดของการใช้ CAE ในซอฟต์แวร์คือง่ายต่อการใช้งาน ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ลึกซึ้งในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และไฟไนต์วอลุมมากนัก เพียงแต่เข้าใจในกระบวนการคิด การดำเนินตามขั้นตอน และการเข้าใจในการอ่านข้อมูล ซึ่งการใช้คอมพิวเตอร์ซอฟแวร์สามารถแก้ปัญหาทางการออกแบบได้สะดวก และรวดเร็วขึ้นมาก สามารถเลี่ยงการลองผิดลองถูกได้ ซึ่งการหาผลลัพธ์นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 3 ประการ ได้แก่

1) สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) คือสมการเพื่อบ่งบอกความเป็นจริงของปัญหานั้น ซึ่งงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงสมการเชิงอนุพันธ์ดังเพื่อบ่งบอกถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ และการพาความร้อนแบบบังคับ

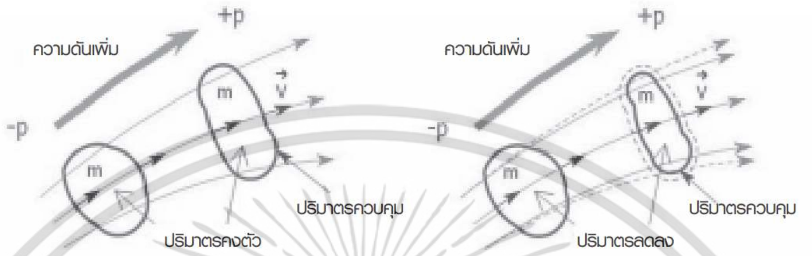
2) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) โดยผลลัพธ์ของปัญหานั้นจะแตกต่างออกไปหากเงื่อนไขขอบเขตเปลี่ยนแปลง ซึ่งงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงลักษณะของพัดลมระบายอากาศลักษณะฮูด และระบบท่อเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิ

3) รูปร่าง (Geometry) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงลักษณะรูปร่างของพื้นที่ใต้หลังคา โดยหากมีการเพิ่มระบบท่อ และฮูดเข้าเข้าไปในระบบระบายความร้อน ก็จะทำให้รูปแบบการไหลของอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, เสฎฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล, 2560)

โดยการไหลของของไหลนั้นสามารถแบ่งได้เป็น การไหลแบบไม่อัดตัว (Incompressible Flow) และการไหลแบบไม่อัดตัว (Compressible Flow) ซึ่งการไหลแบบไม่อัดตัวนั้น หมายถึงการไหลของของไหลที่ความหนาแน่นของของไหลคงตัวหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนไม่มีความสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดัน และการไหลแบบอัดตัวนั้น หมายถึงการไหลของของไหลที่ความหนาแน่นของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดัน (สมนึก บุญพาไสว, 2550) การไหลแบบอัดตัวได้นั้นมีลักษณะการไหลแตกต่างจากการไหลแบบไม่อัดตัวไปเกือบสิ้นเชิง โดยมักประกอบไปด้วย คลื่นช็อก คลื่นขยาย รวมทั้งการกระแทกกันระหว่างคลื่นช๊อก การทดลองจริงทำได้ยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง การไหลในธรรมชาติส่วนใหญ่จึงเป็นการไหลแบบไม่อัดตัว (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, เสฎฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล, 2560) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับการไหลของอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาควบคู่ไปกับการใช้ระบบระบายอากาศเพื่อลดความร้อน จึงจัดว่าลักษณะการไหลของอากาศในงานวิจัยนี้เป็นการไหลแบบไม่อัดตัว (Incompressible Flow) เพื่อนำไปวิเคราะห์ในซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Flow Simulation



(1) การไหลแบบไม่อัดตัว (Incompressible Flow) (2) การไหลแบบอัดตัว (Compressible Flow)

รูปที่ 3.10 แสดงการไหลแบบอัดตัว และไม่อัดตัว (ที่มา: สมนึก บุญพาไสว, 2550)

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computation Fluid Dynamics, CFD) ด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation จะทำการสร้าง mesh หรือ cell ของชิ้นงานหรือระบบที่กำลังศึกษา และใช้ระเบียบวิธีการแบ่งช่วงที่เรียกว่าระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องหรือไฟไนต์วอลุม (Finite Volume) และอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) ร่วมกับการใช้สมการอื่น ๆ ในการแก้ปัญหาไปพร้อม ๆ กัน ภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้น และเงื่อนไขขอบเขต จากนั้นจึงวิเคราะห์ผล และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ในรูปแบบที่ต้องการ โดยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วย SOLIDWORKS Flow Simulation จะทำการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ ซึ่งเป็นสมการที่ใช้เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของของไหล เป็นประโยชน์ต่อกลศาสตร์ของไหลอย่างมาก เนื่องจากสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพของของไหลได้กว้างขวางที่สุด โดยครอบคลุมสมการทั้ง 3 สมการหลัก ๆ ดังนี้

1) สมอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass Equation)

2) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

3) กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy-Energy Equation)

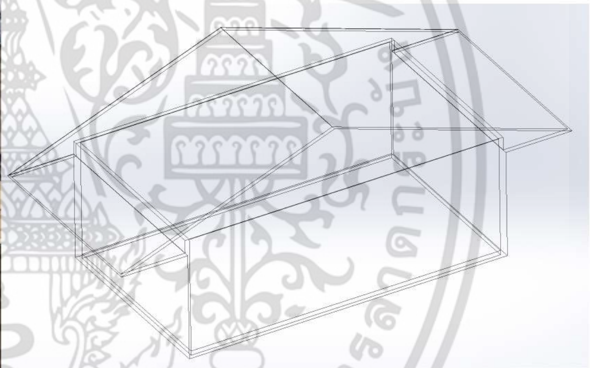
(ปราโมทย์ เดชะอำไพ, เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล, 2560)

โดยสมการนาเวียร-สโตกส์นั้น สามารถอธิบายครอบคลุมสมการการทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling), อัตราการไหลของอากาศ (Volume Flow Rate), สมการเบอร์นุลลี (Bernoulli’s Equation) รวมถึงกฎการอนุรักษ์พลังงานซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การจัดการโมเดลจำลองจากอาคารกรณีศึกษา (Model's Simplifications)

การจัดการโมเดล และลดความซับซ้อนของแบบจำลองนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการคำนวณหาผลลัพธ์ และความแม่นยำของผลลัพธ์รวมถึงการลดทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ หากแบบจำลองมีรูปร่างซับซ้อน จะส่งผลให้การสร้างกริด (Mesh) มีความยากมากขึ้นในการครอบคลุมถึงรายละเอียดขนาดเล็กได้อย่างทั่วถึง และถ้าหากจำนวนกริด (Mesh) ไม่มากพอ จะส่งผลให้ผลลัพธ์ในการคำนวณมีความผิดพลาดที่สูงขึ้นเช่นกันรวมถึงใช้ทรัพยากรเครื่องคอมพิวเตอร์มากจนเกินไป ดังนั้น การลดความซับซ้อนของแบบจำลองจะช่วยให้สามารถสร้างปริมาณกริด (Mesh) ที่เหมาะสม และลดโอกาสคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยการลดความซับซ้อนของแบบจำลองจากสถานที่จริง โดยผู้วิจัยได้กำหนดแบบจำลองให้ไม่มีหน้าต่าง และประตูทางเข้า รวมถึงห้องน้ำด้านนอก เพื่อกำหนดขอบเขตของอากาศที่ต้องการศึกษา



รูปที่ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่จริง และตัวอย่างโมเดลจำลอง (ที่มา:ผู้วิจัย, 2565)

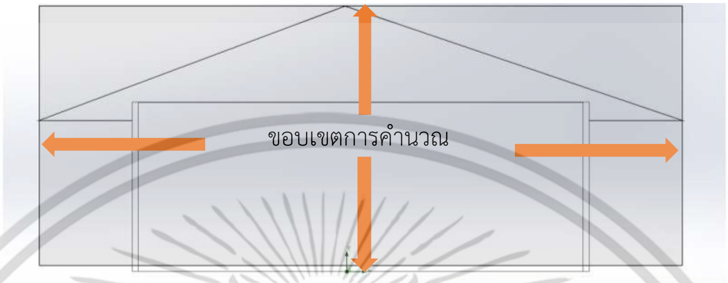
การกำหนดขอบเขตการคำนวณ SolidWorks Flow Simulations นั้นสามารถพิจารณาขอบเขตการคำนวณได้ 2 รูปแบบคือ

1) การคำนวณแบบภายใน (Internal) จะใช้เมื่อวิเคราะห์ของเหลวที่อยู่ภายในรูปร่างที่ปิดสนิท โดยมีการกำหนดทิศทางของเหลวได้แก่ทางเข้า (Inlet) และทางออก (Outlet) ที่แน่นอน ดังนั้นปริมาตรภายในรูปทรงปิดจะถูกพิจารณาเป็นของไหลระหว่างการคำนวณ

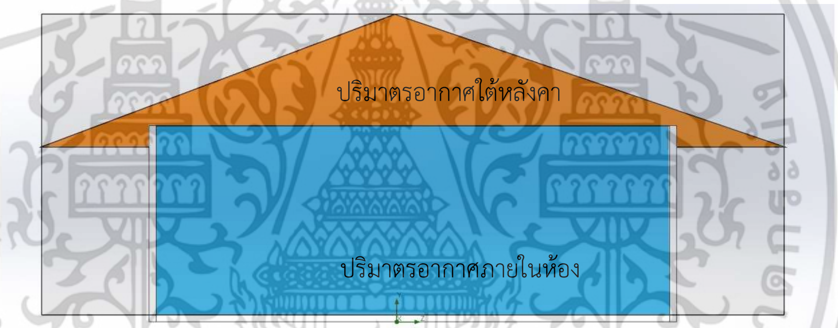
2) การคำนวณแบบภายนอก (External) จะใช้เมื่อวิเคราะห์วัตถุที่ถูกล้อมรอบไปด้วยของเหลว และไม่สามารถระบุการไหลเข้า และไหลออกของของเหลวนั้นได้ เช่น การวิเคราะห์การไหลของอากาศปะทะสิ่งก่อสร้าง การวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านเครื่องบิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์การระบายอากาศเพื่อระบายความร้อนในพื้นที่การระบายอากาศนั้น ขอบเขตการคำนวณจะเป็นในรูปแบบการวิเคราะห์ภายใน (Internal) เนื่องจากสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางการเข้า และออกของอากาศได้อย่างชัดเจน โดยกำหนดให้ไม่มีตัวแปรเกี่ยวกับความเร็วลมภายนอก (ลมสงบ) แสดงดังรูปที่ 3.12 และ 3.13



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างขอบเขตการคำนวณของแบบจำลอง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างพื้นที่ปริมาตรอากาศที่ใช้ในการคำนวณในแบบจำลอง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

3.2.3 การสร้างกริดที่ใช้ในการคำนวณ (Meshing)

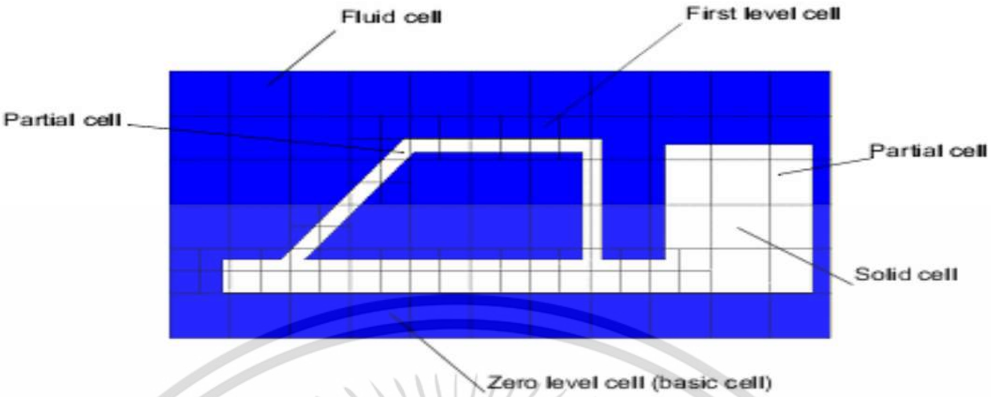
การสร้างกริดหรือ Mesh นั้นมีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์เป็นอย่างมาก ดังที่กล่าวข้างต้นในหัวข้อ 3.2.1 ว่าหากกริด (Mesh) ในแบบจำลองไม่ละเอียดเพียงพอในบริเวณที่มีความซับซ้อน หรือมีการเปลี่ยนแปลงของการไหลสูง จะทำให้ผลลัพธ์ไม่มีความน่าเชื่อถือ ในขณะที่หากสร้างกริด (Mesh) ปริมาณมากเกินความจำเป็นจะเป็นการสิ้นเปลืองเวลา และทรัพยากรของคอมพิวเตอร์โดยใช่เหตุ โดยกริดหรือ Mesh ในโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations นั้นจะถูกสร้างขึ้นภายใต้รูปร่างทรงสี่เหลี่ยมทั้งหมดในขอบเขตการคำนวณ โดยสามารถจำแนกชนิดของกริด (Mesh) ที่เกิดขึ้นได้ 3 ประเภท คือ

1) Fluid Cell คือ Cell ที่อยู่ในพื้นที่ของไหลทั้งหมด

2) Solid Cell คือ Cell ที่อยู่ในพื้นที่ของแข็ง

3) Partial Cell คือ Cell ที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของแข็ง และของไหล

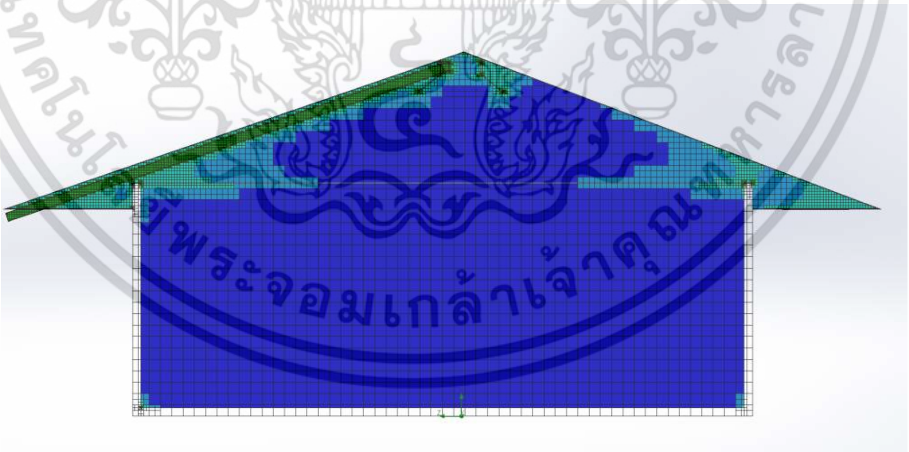
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงชนิดของ Mesh ใน SolidWorks Flow Simulations
(ที่มา: เอกรินทร์ จินดาพี, 2555)

โดยสำหรับ Mesh หรือ Cell ในแบบจำลองตั้งต้นนั้น มีจำนวนเซลล์ดังนี้

Total Cells (เซลล์ทั้งหมด)	= 854,385 cells
Fluid Cells (เซลล์ปริมาตรอากาศ)	= 404,4485 cells
Solid Cells (เซลล์ของแข็ง)	= 449,900 cells
Partial Cell (เซลล์ระหว่างอากาศ และของแข็ง)	= 234,684 cells



รูปที่ 3.15 แสดง Mesh ในแบบจำลอง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

3.2.4 การคำนวณผลลัพธ์ (Solving)

ก่อนทำการการคำนวณหาผลลัพธ์นั้น ต้องระบุเป้าหมายของตัวแปรทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองในจุดที่สนใจ เช่น ความดัน ความเร็ว อุณหภูมิ อัตราการไหล ซึ่งสำหรับ

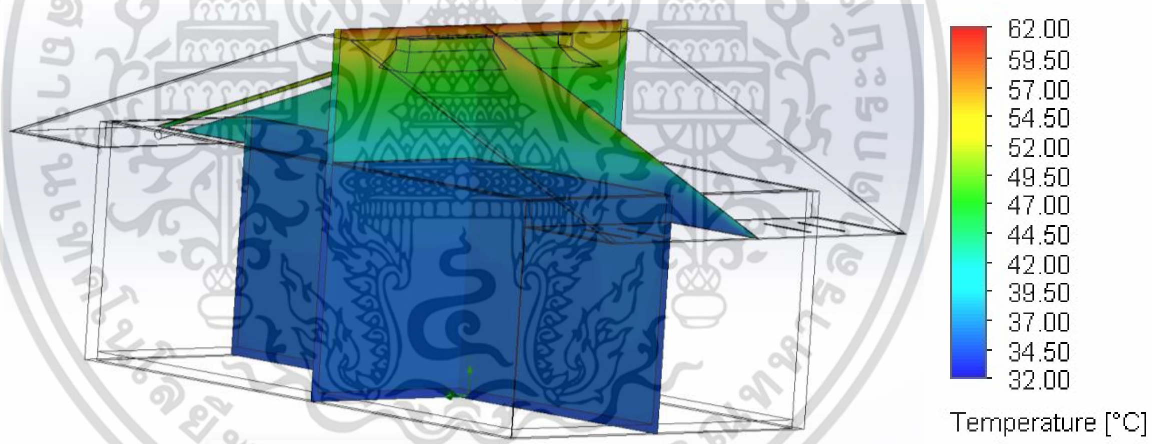
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองอาคารกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดเป้าหมายการคำนวณไว้ คือ อุณหภูมิ (Temperature) การคำนวณผลลัพธ์นั้นสามารถกำหนดเงื่อนไขการคำนวณได้เป็น 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ

1) Steady-State Analysis หรือการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตอนที่สภาวะทุกอย่างคงที่หรือระบบมีความเสถียรแล้ว ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้ โปรแกรมจะไม่บอกเวลาการคำนวณว่าใช้เวลาในความเป็นจริงเท่าไหร่จนกว่าระบบจะมีสภาวะคงที่

2) Transient Analysis หรือการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขสิ้นสุดการคำนวณได้หลายรูปแบบ เช่น ระบุระยะเวลาการทำงานจริง (Physical Time), การระบุจำนวนรอบของการคำนวณ (Iteration) หรือการระบุการลู่เข้าของตัวแปรทางด้านฟิสิกส์ (Convergence) เช่น อัตราการไหล ความดัน ความเร็ว อุณหภูมิ แรง เป็นต้น

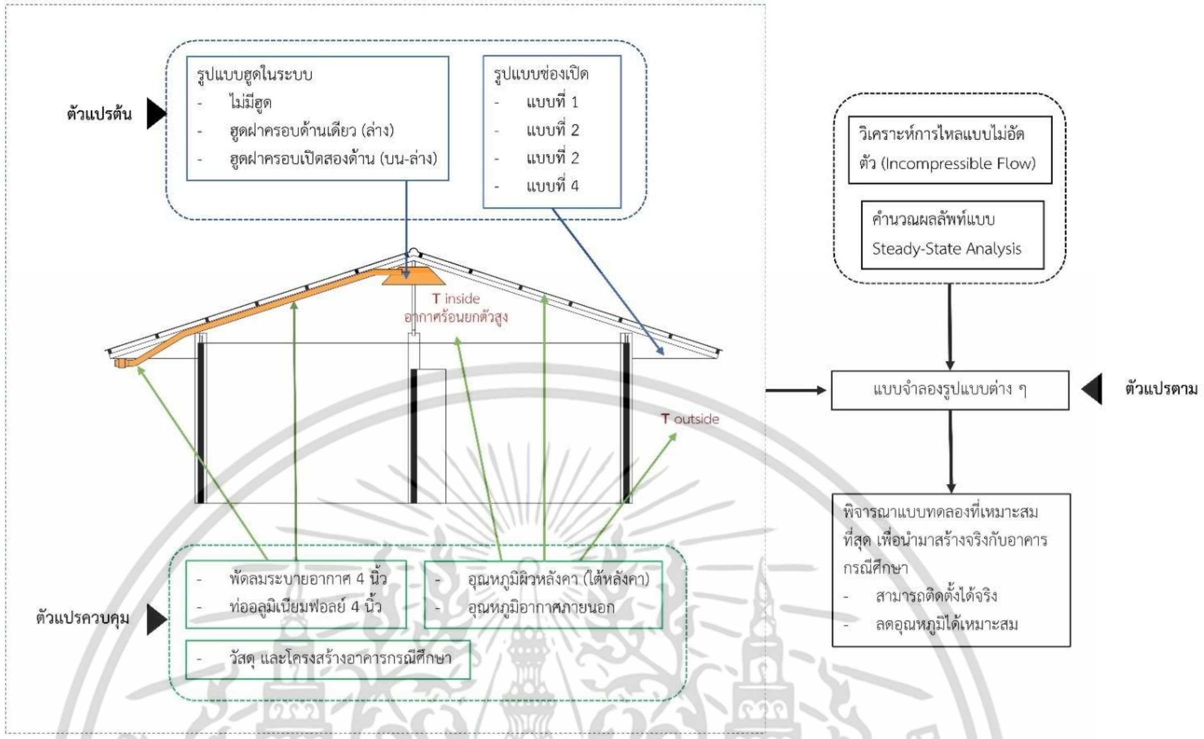
โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดการวิเคราะห์เป็นแบบ Steady-State Analysis เนื่องจากผู้วิจัยต้องการหาความสามารถสูงสุดในการลดความร้อนในอาคารสำหรับรูปแบบการทดลองต่าง ๆ ในสภาวะคงที่ของระบบโดย พิจารณาเลือกแบบจำลองที่ Contour อุณหภูมิอากาศภายในห้องน้อยที่สุดเป็นโมเดลสำหรับสร้างในพื้นที่จริง ตัวอย่างดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่าง Contour อุณหภูมิอากาศในแบบจำลอง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ผู้วิจัยสามารถสรุปเครื่องมือวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations ได้เป็นกรอบแนวคิดแสดงเครื่องมือการสร้างแบบจำลองดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องมือวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

3.3 การสร้างโมเดลการศึกษาในสถานที่จริง

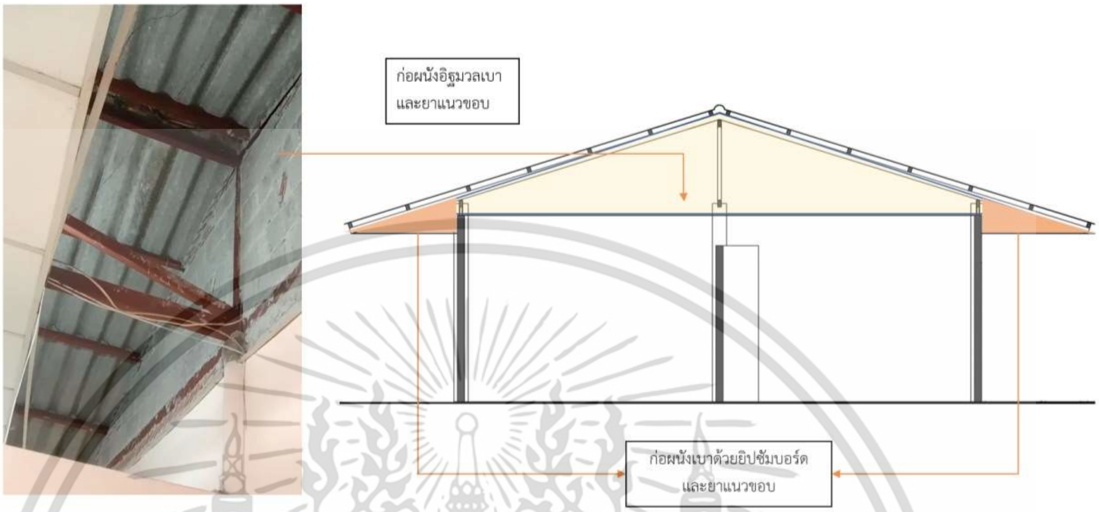
จากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations ผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำมาสร้างในพื้นที่จริง และทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิภายในอาคารบ้านแถวชั้นเดียวด้วยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ มีขั้นตอนดังต่อนี้

3.3.1 เตรียมสถานที่ และติดตั้งระบบระบายอากาศ

จากการสำรวจอาคารกรณีศึกษาพบว่า พื้นที่ใต้หลังคาในสถานที่จริงนั้นไม่มีการก่อผนังเพื่อกั้นมวลอากาศภายในบริเวณพื้นที่ใต้หลังคาระหว่างห้อง ส่งผลให้อากาศในพื้นที่ใต้หลังคานั้นเป็นมวลอากาศรวมของพื้นที่ใต้หลังคาทั้ง 6 ห้อง จึงต้องทำการก่อผนัง และปิดรอยรั่วระหว่างรอยต่อให้ได้มากที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจรการระบายอากาศ (Ventilation Short Circuiting) เพื่อกำหนดขอบเขตมวลอากาศที่พิจารณา ให้สอดคล้องกับแบบจำลองในโปรแกรม SolidWorks Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulations ให้มากที่สุด แสดงการก่อผนัง และปิดรอยต่อดังภาพที่ 3.18 ก่อนติดตั้งระบบระบายอากาศที่เลือกจากแบบจำลองด้วยโปรแกรม



รูปที่ 3.18 แสดงการก่อผนังเพื่อกำหนดขอบเขตมวลอากาศภายในบริเวณพื้นที่ใต้หลังคา
(ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

3.3.2 การเก็บข้อมูล

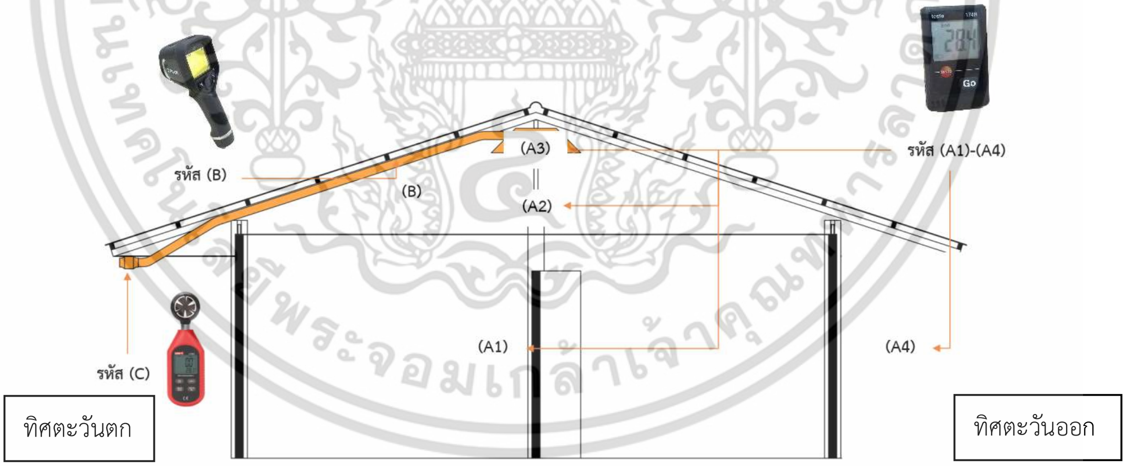
ทำการติดตั้งระบบระบายอากาศในอาคารกรณีศึกษาโดยปิดประตู และหน้าต่างทั้งหมด เพื่อป้องกันผลกระทบของอุณหภูมิอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ใช้เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ดังตารางที่ 3.4 โดยบันทึกอุณหภูมิอากาศทุก ๆ 15 นาทีตั้งแต่เวลา 9.00 – 18.00 น. และบันทึกอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่ 10.00 – 18.00 น. เนื่องจากการบันทึกอุณหภูมิผิวกระเบื้องใต้หลังคานั้น ผู้วิจัยต้องเข้าไปยังอาคารตัวอย่าง และเปิดฝ้าเพดานส่วนหนึ่งเพื่อบันทึกข้อมูล จึงเว้นระยะการเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 ชั่วโมงเพื่อลดผลกระทบ และความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิอากาศที่จุดวัดอื่น ๆ ดังนี้

(A1) = อุณหภูมิอากาศภายในห้อง สูงจากพื้น 1.50 เมตร (ระดับสายตา)
(A2) = อุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดาน 20 ซม.
(A3) = อุณหภูมิอากาศใต้สันหลังคา 20 ซม.
(A4) = อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร สูงจากพื้น 1.50 เมตร (ระดับสายตา)
(B) = อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงเครื่องมือตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา

รหัส	เครื่องมือ		
	ภาพ	รายละเอียด	จุดตรวจวัด
(A1) (A2) (A3) (A4)	 ภาพจาก: ผู้วิจัย	เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น Temperature Humidity Datalogger รุ่น TESTO 174H ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ	(A1) อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (A2) อุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดาน (A3) อุณหภูมิอากาศใต้สันหลังคา (A4) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออกวัดในหน่วย °C
(B)	 ภาพจาก: ผู้วิจัย	เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ Thermal Imaging Reflected Temperature รุ่น FLIR E5 สำหรับถ่ายภาพเพื่อวัดอุณหภูมิผิววัสดุกระเบื้องหลังคา	(B) อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) วัดในหน่วย °C
(C)	 ภาพจาก: ผู้วิจัย	Uni - T Ut363 เครื่องวัดอุณหภูมิความเร็วลมดิจิตอล	(C) วัดความเร็วลมในท่อ วัดในหน่วย m/s



รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่จุดต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในแผนการวิจัยจำนวนหลายวันต่อเนื่องกัน ซึ่งแต่ละวันอาจมีความแตกต่างของสภาพอากาศทำให้ได้ข้อมูลของบางวันที่ไม่สามารถนำมาทดสอบตามวัตถุประสงค์ได้ จึงต้องมีการเลือกวันที่เหมาะสมเพื่อใช้ข้อมูลในวันนั้นไปวิเคราะห์ต่อตามวัตถุประสงค์งานวิจัย การเลือกวันที่เหมาะสมนี้พิจารณาจากสภาพอากาศในวันนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องมีแสงแดดตลอดวัน ไม่มีเมฆ ฝนไม่ตก และค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก (จุดตรวจวัด A4) และอุณหภูมิผิวกระเบื้อง (จุดตรวจวัด B) จะต้องไม่แตกต่างกันมาก จากนั้นใช้สถิติ T-test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของกลุ่มวันที่ที่ปิด และกลุ่มวันที่เปิดพัดลมดูดอากาศ ของทั้งสองจุดตรวจวัด ถ้าพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะใช้ข้อมูลอุณหภูมิในกลุ่มวันที่ปิด และกลุ่มวันที่เปิดพัดลมดูดอากาศนี้วิเคราะห์ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในจุดที่เหลือคือ ภายในห้อง, เหนือฝ้าเพดาน และใต้สันหลังคาต่อไป โดยบันทึกค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก และอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศ ดังตารางที่ 3.5 และบันทึกอุณหภูมิอากาศทั้ง 4 จุด ได้แก่ (A1) อุณหภูมิอากาศภายในห้อง, (A2) อุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดาน, (A3) อุณหภูมิอากาศใต้สันหลังคา, (A4) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก อ้างอิงจากภาพที่ 3.4 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. ทั้ง 4 จุดตรวจวัดของวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศ ตัวอย่างดังตารางที่ 3.7 และ 3.7 และแสดงกราฟผลรวมของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ

ตารางที่ 3.7 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก และอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศ

จุดตรวจวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (°C)							
	ปิดพัดลมระบายอากาศ				เปิดพัดลมระบายอากาศ			
				$\bar{X}$ (*SD*)				$\bar{X}$ (*SD*)
อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศวันออก (A4)								
อุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคา (B)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ ระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.																																					
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{X}$(SD)
$\bar{X}$(SD)																																						

ตารางที่ 3.9 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ ระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.																																					
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{X}$(SD)
$\bar{X}$(SD)																																						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การคำนวณข้อมูล

คำนวณอัตราการไหลอากาศ (Q) โดยการตรวจวัดความเร็วลม ณ จุด (C) และแทนค่าในสมการจาก Q คือ อัตราการไหลของอากาศในหน่วย cfm ในสมการ $Q = AV$
แปลงหน่วยในสมการ โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดอากาศหรือขนาดพัดลม อยู่ในหน่วย ft^2
V คือ ความเร็วอากาศ อยู่ในหน่วย ft/min
จากนั้นเปรียบเทียบอัตราการไหลในพื้นที่จริงเพื่อเทียบกับอัตราการไหลจากผู้ผลิตพัดลมระบายอากาศ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

คำนวณปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (q_s)

จากสมการ $q_s = 60\, Q\, \rho C_p\, \Delta T$

q_s คือ ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu / h)

60 คือ จำนวนนาทีที่มีการไหลของอากาศใน 1 ชั่วโมง

Q คือ อัตราการไหลของอากาศในหน่วย cfm

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (lbm / ft^3) มีค่าประมาณ 0.075 lbm / ft^3

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu / lb ^oF) มีค่าประมาณ 0.24 Btu / lb ^oF

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายใน และภายนอก (^oF)

โดยแทนค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ใต้หลังคา ณ จุดตรวจวัด (A2) และ (A3) เพื่อหาความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศภายนอกหรือ ΔT กับจุดตรวจวัด (A4) เพื่อหาปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (q_s) จากการแทนค่าตัวแปรในสมการ $q_s = 60\, Q\, \rho C_p\, \Delta T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การดำเนินงาน และผลการวิจัย

จากการดำเนินการตามวิธีดำเนินการวิจัย และการสร้างเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเรื่อง การลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ กรณีศึกษา : อาคารบ้านแถวชั้นเดียวในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา สามารถแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

4.1 การจำลองสภาพการไหลโดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computation Fluid: Incompressible Flow)

4.1.1 ข้อมูลอุณหภูมิตั้งต้น เพื่อการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของฮูด

4.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพของช่องเปิด

4.2 การศึกษาในสถานที่จริง

4.2.1 การติดตั้งระบบระบายอากาศ

4.2.2 การเก็บข้อมูล

4.2.3 การคำนวณข้อมูล

4.1 การจำลองสภาพการไหลโดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computation Fluid: Incompressible Flow)

4.1.1 ข้อมูลอุณหภูมิตั้งต้น เพื่อการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

อ้างอิงจากการใช้เครื่องมือ และตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในหัวข้อที่ 3.1 โดยวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออกที่จุด (A4) และอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ที่จุด (B) อ้างอิงจุดวัดจากรูปที่ 3.19 โดยวัดอุณหภูมิอากาศ ทุก ๆ 15 นาทีตั้งแต่เวลา 14.00 – 16.00 น. ณ วันที่ 3 และ 4 ตุลาคม 2565 ซึ่งเป็นช่วงที่ร้อนที่สุดของวัน แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

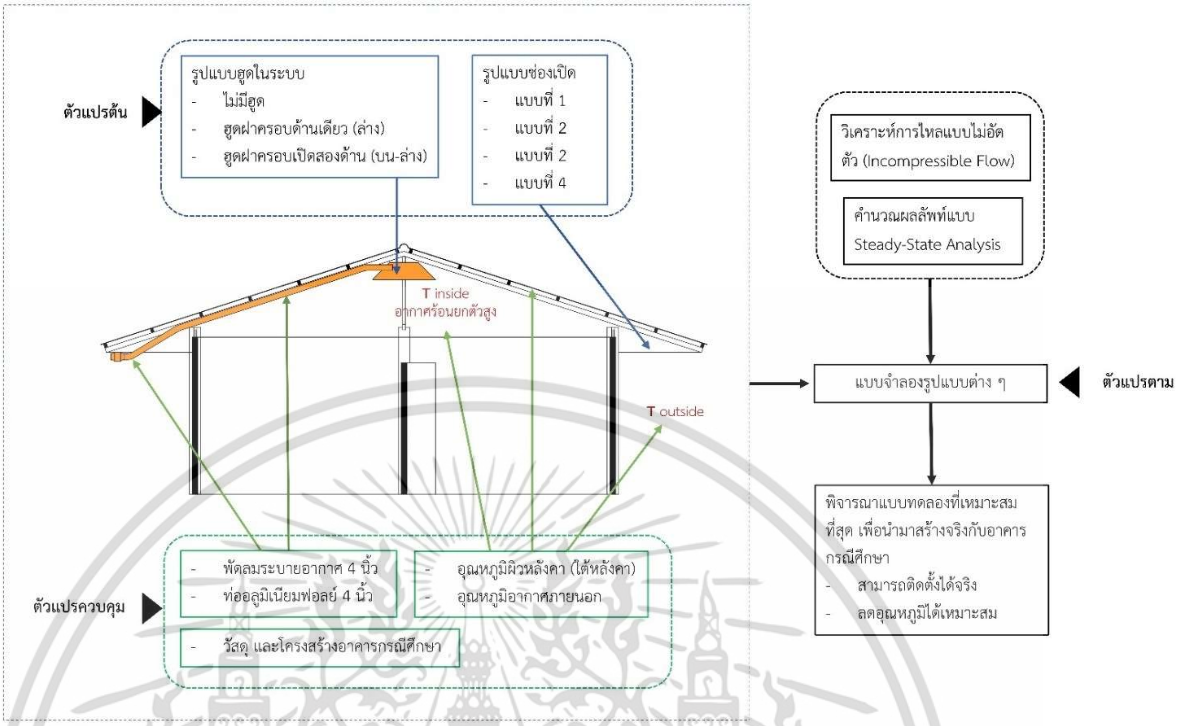
ตารางที่ 4.1 แสดงตารางบันทึกอุณหภูมิในแต่ละจุดเพื่อกำหนดตัวแปรควบคุม

วัน	อุณหภูมิอากาศ (℃) ในแต่ละจุดเวลา										อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) (℃)		
	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	$\bar{X}$ (SD)	14:00	16:00	$\bar{X}$ (SD)
1 (3 ต.ค.)	31.70	32.10	32.20	32.50	32.50	32.30	32.40	32.30	32.10	32.24 (0.25)	74.60	55.00	64.80 (13.90)
2 (4 ต.ค.)	31.60	31.90	32.20	32.60	32.60	32.50	32.60	32.70	32.40	32.81 (0.39)	72.00	55.10	63.55 (11.96)
$\bar{X}$ (SD)										32.52 (0.41)	$\bar{X}$ (SD)		64.18 (0.88)

จากข้อมูลอุณหภูมิข้างต้น ได้กำหนดอุณหภูมิตั้งต้น เพื่อเป็นตัวแปรควบคุม และตัวแปรควบคุมอื่น ๆ อ้างอิงจากหัวข้อที่ 3.2.4 เครื่องมือวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations กำหนดตัวแปรควบคุมได้ ดังนี้

1) อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) 64.18 ℃
2) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก 32.52 ℃
3) หลังคากระเบื้องซีเมนต์ หนา 0.5 ซม.
4) วัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 10 ซม.
5) วัสดุฝ้าเพดาน ฝ้า T-Bar ยิปรอค หนา 0.8 ซม.
6) พัดลมระบายอากาศ 4 นิ้ว
7) ท่ออลูมิเนียมฟอลย์ 4 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

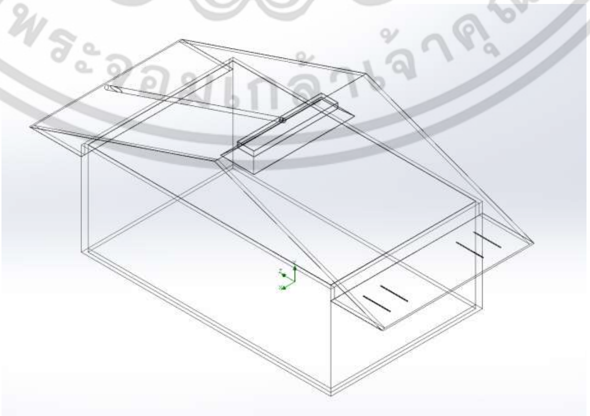


รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องมือวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations

(ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

4.1.2 การจำลองโมเดลจากอาคารกรณีศึกษา (Model’s Simplifications)

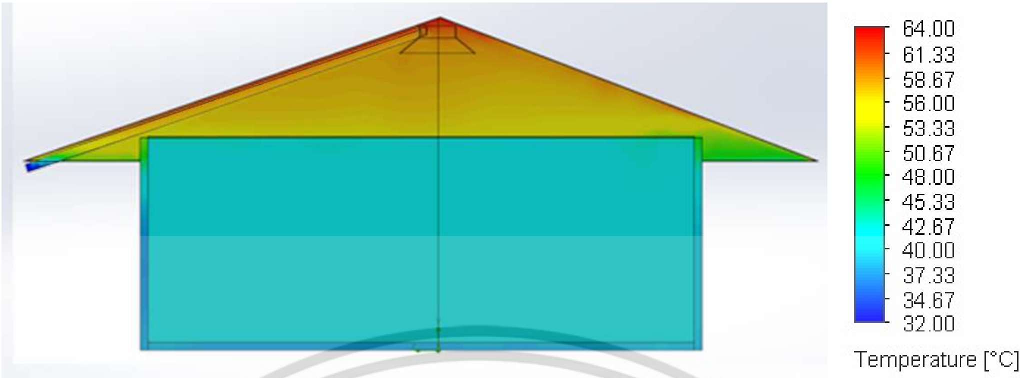
จากการจำลองโมเดลอาคารกรณีศึกษา อ้างอิงจากหัวข้อที่ 3.2.2 และการกำหนดตัวแปรควบคุมข้างต้น สามารถจำลองแบบโมเดล โดยแสดง Contour ของอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษาที่ปิดระบบระบายอากาศได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงโมเดลเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศ

(ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

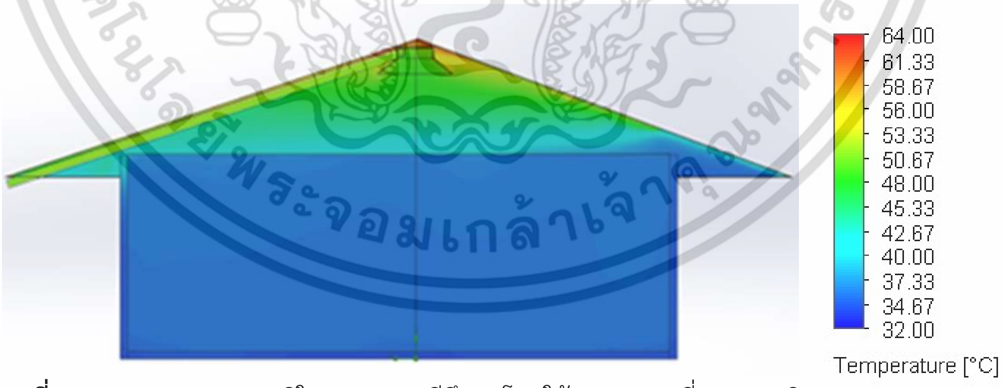


รูปที่ 4.3 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาขณะปิดระบบระบายอากาศด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulations (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

4.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของฮูด

เนื่องจากแบบการทดลองนั้น ต้องการทดสอบถึงประสิทธิภาพของรูปแบบฮูด 3 แบบ และรูปแบบช่องเปิดทั้งหมด 4 แบบ จึงแบ่งเป็นทำการทดสอบรูปแบบฮูดทั้งหมด และหารูปแบบฮูดที่ดีที่สุดเพื่อไปทดสอบกับช่องเปิดต่อไป แสดง Contour อุณหภูมิของรูปแบบฮูด 3 แบบ โดยเปิดพัดลมระบายอากาศขนาด 4 นิ้ว ด้วยอัตราการระบายอากาศ 235 CFM ช่องระบายอากาศขนาด 730 ตร.ซม. แสดงผลการ Simulationsดังรูปที่ 4.4 - 4.6

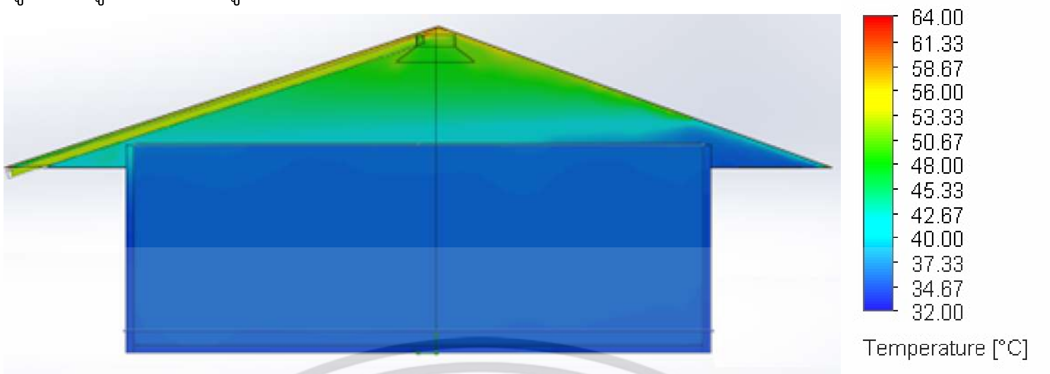
รูปแบบฮูดแบบที่ 1: ฮูดฝาครอบแบบปกติ (เปิดด้านล่าง)



รูปที่ 4.4 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ฮูดรูปแบบที่ 1 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

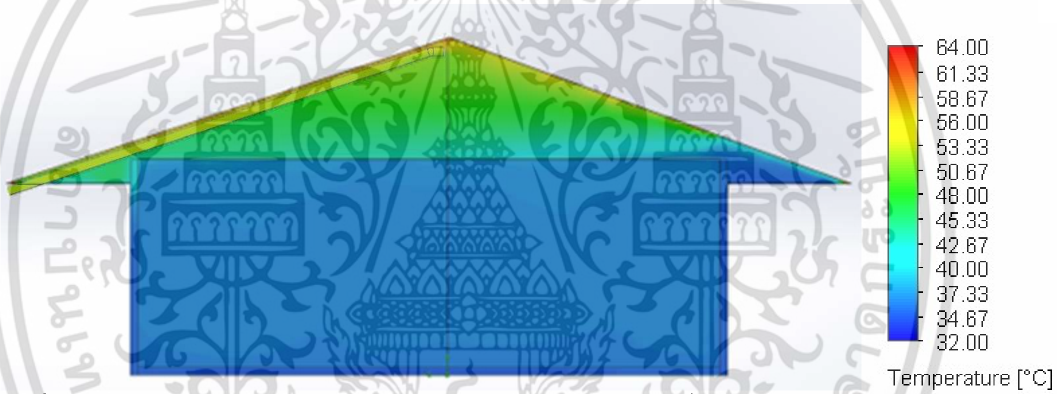
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบฮูดแบบที่ 2: ฮูดฝาครอบเปิดสองด้าน (เปิดด้านล่าง และด้านบน)



รูปที่ 4.5 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ฮูดรูปแบบที่ 2 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

รูปแบบฮูดแบบที่ 3: ไม่มีฮูดในระบบ



รูปที่ 4.6 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ฮูดรูปแบบที่ 3 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

จากการเปรียบเทียบ Contour จากการ Simulations ทั้ง 3 แบบพบว่า โมเดลการจำลองการใช้ฮูดแบบที่ 2 คือ ฮูดฝาครอบเปิดสองด้าน (เปิดด้านล่าง และด้านบน) พบว่ามี Contour อุณหภูมิอากาศภายในห้องของอาคารกรณีศึกษานั้นมีสีอ่อนที่สุด หรือมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองแบบการ simulations

4.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพของช่องเปิด

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮูดพบว่า ฮูดแบบฝาครอบเปิดสองด้าน (เปิดด้านล่าง และด้านบน) นั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด จึงได้นำรูปแบบฮูดนี้มาทดสอบกับรูปแบบช่องเปิดทั้งหมด 4 รูปได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบที่ 1: 365 ตร.ซม. อ้างอิงจากขนาดพื้นที่เปิดช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด เอสซีจี รุ่นเซาะร่อง 3 นิ้วระบายอากาศ ขนาด 60x120x0.4 ซม. 1 แผ่น

- แบบที่ 2: 730 ตร.ซม. อ้างอิงจากขนาดพื้นที่เปิดช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด เอสซีจี รุ่นเซาะร่อง 3 นิ้วระบายอากาศ ขนาด 60x120x0.4 ซม. 2 แผ่น

- แบบที่ 3: 78.5 ตร.ซม. อ้างอิงจากขนาดพื้นที่หน้าตัดท่ออลูมิเนียมฟอยด์ขนาด 4 นิ้ว แทนพื้นที่ช่องเปิดขนาดเล็ก หรือขนาด 1:1 กับพื้นที่อากาศออก

- แบบที่ 4: 2500 ตร.ซม. แทนพื้นที่ช่องเปิดขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาการเปิดรับอากาศเข้าในปริมาณที่มาก

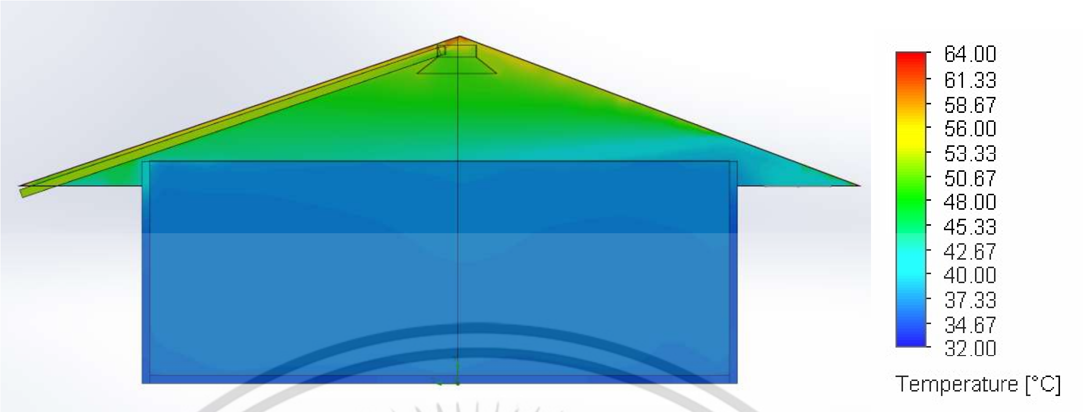
แสดงโมเดลรูปแบบช่องเปิดทั้ง 4 แบบดังภาพที่ 4.7

รูปที่ 4.7 แสดงโมเดลรูปแบบช่องเปิดทั้ง 4 แบบ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ทดสอบด้วยการเปิดพัดลมระบายอากาศขนาด 4 นิ้ว ด้วยอัตราการระบายอากาศ 235 CFM แสดงผลการ Simulations ดังภาพที่ 4.8 - 4.11

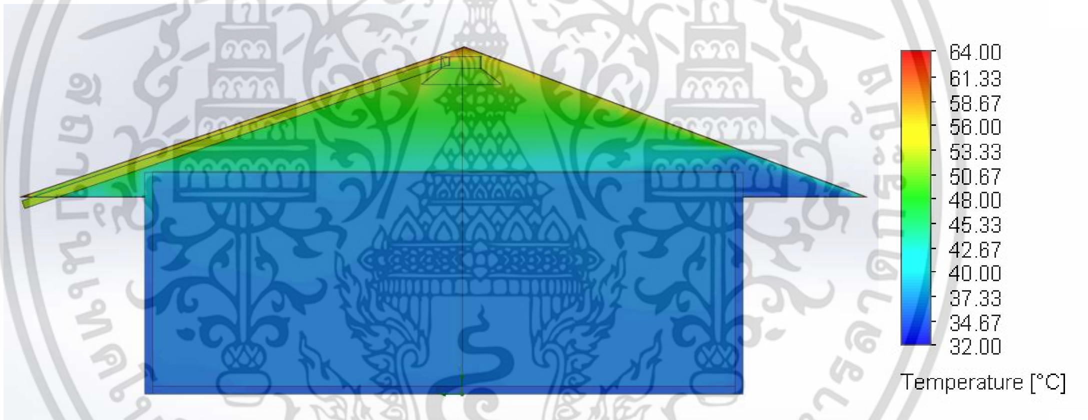
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบช่องเปิดแบบที่ 1: 365 ตร.ซม.



รูปที่ 4.8 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 1 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

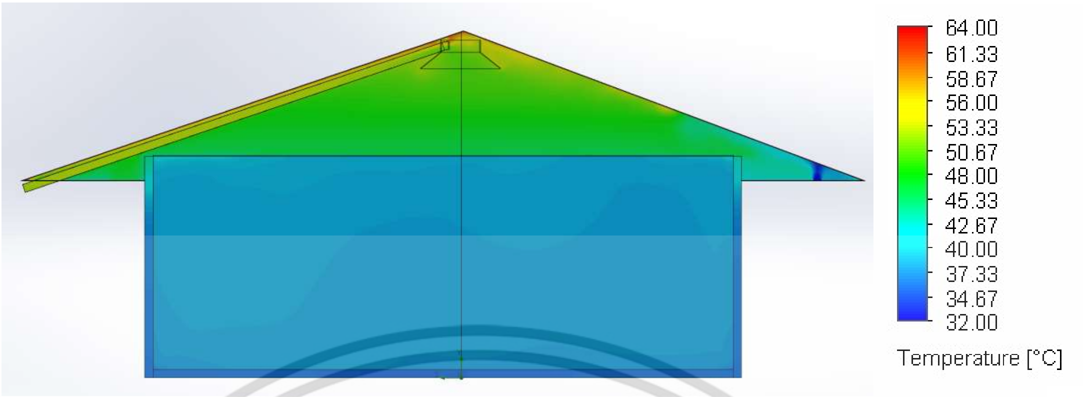
รูปแบบช่องเปิดแบบที่ 2: 730 ตร.ซม.



รูปที่ 4.9 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 2 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบช่องเปิดแบบที่ 3: 78.5 ตร.ซม.



รูปที่ 4.10 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 3 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

รูปแบบช่องเปิดแบบที่ 4: 2500 ตร.ซม.

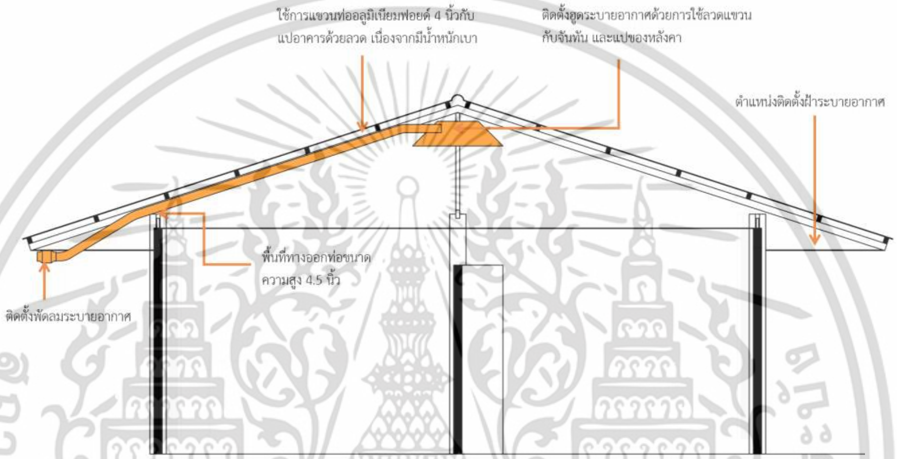
รูปที่ 4.11 Contour อุณหภูมิในอาคารกรณีศึกษาโดยใช้ช่องเปิดรูปแบบที่ 4 ขณะเปิดระบบระบายอากาศ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

จากการ Simulations พบว่า Contour อุณหภูมิอากาศภายในห้องอาคารกรณีศึกษาของการใช้ช่องเปิดแบบที่ 2: 730 ตร.ซม. นั้นมีอุณหภูมิต่ำที่สุด และแบบที่ 1: 365 ตร.ซม. และแบบที่ 4: 2500 ตร.ซม. รองลงมาตามลำดับ และแบบที่ 3: 78.5 ตร.ซม. น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาในสถานที่จริง

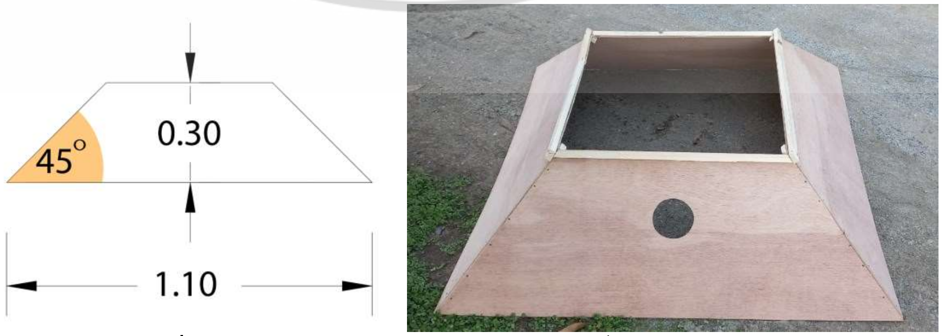
จากการพิจารณาพื้นที่จริงในอาคารกรณีศึกษาพบว่า รูปแบบการ Simulations ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบระบายอากาศนั้นคือ ใช้รูปแบบฮูดแบบที่ 2: ฮูดฝาครอบเปิดสองด้าน (เปิดด้านล่าง และด้านบน)และรูปแบบช่องเปิดแบบที่ 2: 730 ตร.ซม. โดยมีรายละเอียดการติดตั้งดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบการติดตั้งในพื้นที่จริง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

4.2.1 การติดตั้งระบบระบายอากาศ

จากการศึกษาพื้นที่จริงพบว่า การติดตั้งฮูดนั้น สามารถมีขนาดได้เท่ากับ 1.1x1.1 เมตร ความสูงในแนวตั้ง 30 ซม. และมีมุมเอียง 45 องศา ดังรูปที่ 4.12 เนื่องจากโครงสร้างภายในของพื้นที่ใต้หลังคาที่จำกัด และพื้นที่ติดตั้งช่องเปิดนั้น มีขนาดพอดีสำหรับการติดตั้งช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด ขนาด 60x120x0.4 ซม. 2 แผ่น ซึ่งมีพื้นที่ระบายอากาศเท่ากับ 730 ตร.ซม. ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบ และขนาดของฮูด (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

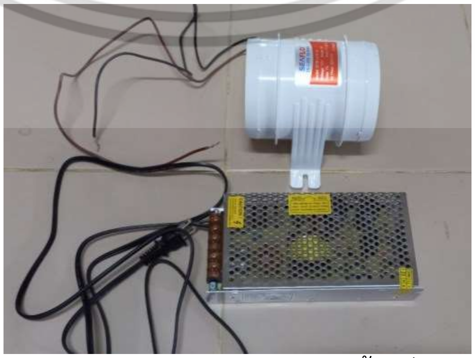
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงการติดตั้งช่องระบายอากาศฝ้าสมาร์ทบอร์ด (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ติดตั้งฮูด และท่ออลูมิเนียมฟอยล์ โดยติดตั้งท่อขนานกับความโค้งหลังคาด้วยการใช้ลวดแขวนกับจันทัน และแปของหลังคา แสดงดังรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.15 แสดงการติดตั้งฮูด และท่ออลูมิเนียมฟอยล์ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ติดตั้งพัดลม SEAFLO ขนาด 4 นิ้ว 12V มีอัตราการไหลเชิงปริมาตร อยู่ที่ 236 CFM แสดงดังรูปที่ 4.16และแสดงการติดตั้งดังรูปที่ 4.17 โดยติดตั้งที่ฝ้าชายคาทิศตะวันตก



รูปที่ 4.16 แสดงพัดลมระบายอากาศขนาด 4 นิ้ว (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 แสดงการติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ฝ้าชายคาทิศตะวันตก (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

อ้างอิงจากหัวข้อที่ 3.3.2 ใช้เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิดังตารางที่ 4.โดยบันทึกอุณหภูมิอากาศ ทุก ๆ 15 นาทีตั้งแต่เวลา 9.00 – 18.00 น. และบันทึกอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่ 10.00 – 18.00 น. แสดงจุดวัดดังนี้

(A1) = อุณหภูมิอากาศภายในห้อง สูงจากพื้น 1.50 เมตร (ระดับสายตา)

(A2) = อุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดาน 20 ซม.

(A3) = อุณหภูมิอากาศใต้สันหลังคา 20 ซม.

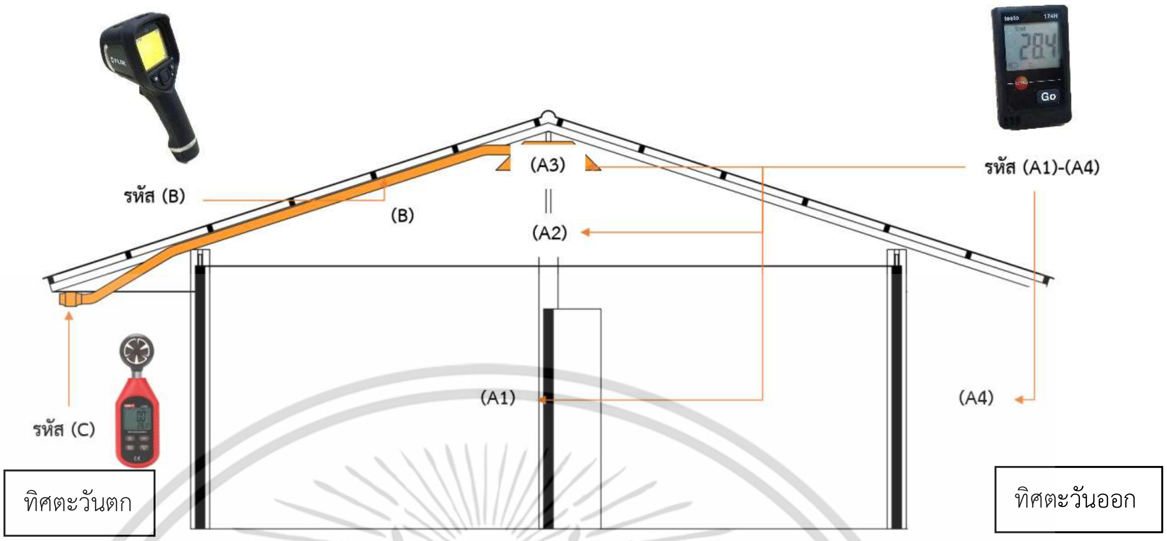
(A4) = อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร สูงจากพื้น 1.50 เมตร (ระดับสายตา)

(B) = อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา)

ตารางที่ 4.2 แสดงเครื่องมือตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา

รหัส	เครื่องมือ		
	ภาพ	รายละเอียด	จุดตรวจวัด
(A1) (A2) (A3) (A4)	 ภาพจาก: ผู้วิจัย	เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น Temperature Humidity Datalogger รุ่น TESTO 174H ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ	(A1) อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (A2) อุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดาน (A3) อุณหภูมิอากาศใต้สันหลังคา (A4) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออกวัดในหน่วย °C
(B)	 ภาพจาก: ผู้วิจัย	เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ Thermal Imaging Reflected Temperature รุ่น FLIR E5 สำหรับถ่ายภาพเพื่อวัดอุณหภูมิผิววัสดุกระเบื้องหลังคา	(B) อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) วัดในหน่วย °C
(C)	 ภาพจาก: ผู้วิจัย	Uni - T Ut363 เครื่องวัดอุณหภูมิความเร็วลมดิจิตอล	(C) วัดความเร็วลมในท่อ วัดในหน่วย m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

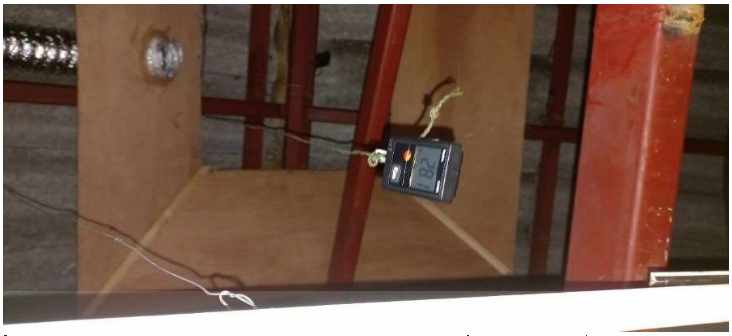


รูปที่ 4.18 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดในอาคารกรณีศึกษา (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

ทำการเจาะฝ้า T-Bar เหนือจุดวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง (A1) เป็นช่องสำหรับเปิดเพื่อใช้เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ Thermal Imaging Reflected Temperature รุ่น FLIR E5 สำหรับถ่ายภาพเพื่อวัดอุณหภูมิผิววัสดุกระเบื้องหลังคาที่จุด (B)

รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A1) และการเจาะฝ้า T-Bar เพื่อวัดอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ใต้หลังคา) ที่จุด (B) (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A2) (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A3) (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

รูปที่ 4.22 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศที่จุด (A4) (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัดความเร็วลมในท่อ ในจุดที่ใกล้กับทางออกอากาศ หรือจุดติดตั้งพัดลม

รูปที่ 4.23 แสดงตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลม (C) (ที่มา: ผู้วิจัย, 2565)

4.2.2 การเก็บข้อมูล

ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก และอุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคาในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ เท่ากับ 30.79 °C (0.85) และในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ เท่ากับ 29.57 °C (0.50) ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอุณหภูมิผิวกระเบื้องในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ เท่ากับ 60.09 °C (1.82) และในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ เท่ากับ 55.68 °C (2.50) ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก และอุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคาในวันที่ปิดและเปิดพัดลมระบายอากาศ

จุดตรวจวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (°C)								
	ปิดพัดลมระบายอากาศ				เปิดพัดลมระบายอากาศ				
	1 ปิด (12 ต.ค.)	2 ปิด (18 ต.ค.)	3 ปิด (23 ต.ค.)	$\bar{X}$ (SD)	1 เปิด (13 ต.ค.)	2 เปิด (17 ต.ค.)	3 เปิด (19 ต.ค.)	4 เปิด (20 ต.ค.)	$\bar{X}$ (SD)
อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศวันออก (A4)	30.72	29.98	31.67	30.79 (0.85)	29.97	29.59	29.71	28.81	29.52 (0.50)
อุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคา (B)	62.10	58.56	59.60	60.09 (1.82)	53.26	58.86	56.40	54.20	55.68 (2.50)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก, อุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคา ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมดูดอากาศด้วยสถิติ T-test พบว่าไม่แตกต่างกันทั้งสองจุดวัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P-value = 0.054 และ 0.050 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศตะวันออก, อุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคา ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมดูดอากาศ

จุดตรวจวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (°C)				*t*	*P – value*
	ปิดพัดลมระบายอากาศ		เปิดพัดลมระบายอากาศ			
	$\bar{X}$	*SD*	$\bar{X}$	*SD*		
อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทิศวันออก (A4)	30.79	0.85	29.52	0.50	-2.512	0.054
อุณหภูมิผิวกระเบื้องด้านในหลังคา (B)	55.68	2.50	60.09	1.82	-2.565	0.050

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด ที่เวลา 09.00 น เท่ากับ 27.50 °C (0.78) อุณหภูมิสูงสุด ที่เวลา 15.45 น. เท่ากับ 33.87 °C (0.67) ตามตารางที่ 4.5

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด ที่เวลา 09.00 น เท่ากับ 26.95 °C (0.50) อุณหภูมิสูงสุด ที่เวลา 15.45 น. เท่ากับ 32.53 °C (0.50) ตามตารางที่ 4.6

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด ที่เวลา 09.00 น เท่ากับ 32.30°C (1.00) อุณหภูมิสูงสุด ที่เวลา 13.15 น. เท่ากับ 49.83 °C (1.03) ตามตารางที่ 4.7

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด ที่เวลา 09.00 น เท่ากับ 30.75 °C (0.50) อุณหภูมิสูงสุด ที่เวลา 13.15 น. เท่ากับ 47.15 °C (1.44) ตามตารางที่ 4.8

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด ที่เวลา 09.00 น เท่ากับ 37.83 °C (1.18) อุณหภูมิสูงสุด ที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 56.57 °C (0.64) ตามตารางที่ 4.9

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด ที่เวลา 09.00 น เท่ากับ 34.65 °C (1.97) อุณหภูมิสูงสุด ที่เวลา 13.15 น. เท่ากับ 54.05 °C (2.01) ตามตารางที่ 4.10

จากการตรวจวัดความเร็วลม ได้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในท่อเท่ากับ 10.15 m/s (0.30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (A1) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.

วัน	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00
1 ปิด (12 ต.ค.)	27.90	28.10	28.40	28.70	29.00	29.30	29.60	29.90	30.30	30.60	30.90	31.10	31.50
2 ปิด (18 ต.ค.)	26.60	26.80	27.10	27.40	27.70	28.00	28.30	28.70	29.10	29.40	29.80	30.20	30.50
3 ปิด (23 ต.ค.)	28.00	28.30	28.60	28.90	29.20	29.50	29.80	30.20	30.60	30.90	31.20	31.50	31.90
$\bar{X}$(SD)	27.50 (0.78)	27.73 (0.81)	28.03 (0.81)	28.33 (0.81)	28.63 (0.81)	28.93 (0.81)	29.23 (0.81)	29.60 (0.79)	30.00 (0.79)	30.30 (0.79)	30.63 (0.74)	30.93 (0.67)	31.30 (0.72)

วัน	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15
1 ปิด (12 ต.ค.)	31.80	32.00	32.30	32.70	32.90	33.20	33.30	33.50	33.70	33.90	34.00	34.10	34.20
2 ปิด (18 ต.ค.)	30.80	31.20	31.50	31.70	32.00	32.20	32.40	32.60	32.80	32.90	33.00	33.00	33.00
3 ปิด (23 ต.ค.)	32.20	32.50	32.70	33.00	33.20	33.30	33.50	33.60	33.80	34.00	34.10	34.20	34.20
$\bar{X}$(SD)	31.06 (0.72)	31.90 (0.66)	32.17 (0.61)	32.47 (0.62)	32.70 (0.62)	32.90 (0.61)	33.07 (0.59)	32.23 (0.55)	33.43 (0.55)	33.60 (0.61)	33.70 (0.61)	33.77 (0.67)	33.80 (0.69)

วัน	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{X}$(SD)
1 ปิด (12 ต.ค.)	34.20	34.30	34.20	34.20	34.00	34.00	33.90	33.70	33.40	33.10	32.80	32.13 (2.07)
2 ปิด (18 ต.ค.)	33.10	33.10	33.00	32.90	32.80	32.70	32.60	32.30	32.00	31.70	31.40	30.98 (2.11)
3 ปิด (23 ต.ค.)	34.30	34.20	34.20	34.10	34.00	34.00	33.80	33.60	33.30	33.00	32.70	32.27 (1.98)
$\bar{X}$(SD)	33.87 (0.67)	33.87 (0.67)	33.80 (0.69)	33.73 (0.72)	33.60 (0.69)	33.57 (0.75)	33.43 (0.72)	33.20 (0.78)	32.90 (0.78)	32.60 (0.78)	32.30 (0.78)	31.79 (0.71)

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิภายในอาคาร (A1) วันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ

วันที่ 1 (12 ต.ค.) = 31.13 °C (2.07)

2 (18 ต.ค.) = 30.98 °C (2.11)

3 (23 ต.ค.) = 32.27 °C (1.98)

อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน = 31.79 °C (0.71)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (A1) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.																		
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30
1 เปิด (13 ต.ค.)	27.60	27.90	28.20	28.50	28.70	29.00	29.30	29.60	29.90	30.30	30.50	30.70	31.00	31.20	31.10	31.60	31.80	32.00	32.20
2 เปิด (17 ต.ค.)	26.40	26.70	27.10	27.30	27.70	28.00	28.40	28.70	29.00	29.30	29.60	29.90	30.30	30.70	30.90	31.30	31.50	31.70	32.00
3 เปิด (19 ต.ค.)	27.00	27.00	27.20	27.50	27.80	28.10	28.40	28.70	29.00	29.30	29.60	30.00	30.20	30.60	30.80	31.10	31.30	31.60	31.90
4 เปิด (20 ต.ค.)	26.80	26.90	27.10	27.30	27.50	27.70	27.80	27.90	28.10	28.40	28.80	29.10	29.40	29.70	30.00	30.30	30.60	30.80	31.00
$\bar{X}$(SD)	26.95 (0.50)	27.13 (0.53)	27.40 (0.54)	27.65 (0.57)	27.93 (0.53)	28.20 (0.56)	28.48 (0.62)	28.73 (0.69)	29.00 (0.73)	29.33 (0.78)	29.63 (0.69)	29.93 (0.66)	30.23 (0.66)	30.55 (0.62)	30.70 (0.48)	31.08 (0.56)	31.30 (0.51)	31.53 (0.51)	31.78 (0.53)

วัน	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{X}$(SD)
1 เปิด (13 ต.ค.)	32.20	32.30	32.40	32.50	32.70	32.80	32.70	32.60	32.70	32.60	32.60	32.50	32.40	32.20	32.00	31.80	31.60	31.40	31.16 (1.57)
2 เปิด (17 ต.ค.)	32.20	32.30	32.50	32.50	32.70	32.70	32.80	32.80	32.80	32.70	32.60	32.60	32.50	32.40	32.10	31.80	31.50	31.20	30.79 (2.03)
3 เปิด (19 ต.ค.)	32.00	32.20	32.30	32.40	32.40	32.50	32.60	32.60	32.60	32.50	32.40	32.30	32.20	32.10	31.80	31.60	31.30	31.10	30.70 (1.87)
4 เปิด (20 ต.ค.)	31.20	31.40	31.50	31.70	31.80	31.90	31.90	32.00	32.00	31.90	31.80	31.70	31.70	31.60	31.40	31.10	30.90	30.60	30.09 (1.78)
$\bar{X}$(SD)	31.90 (0.48)	32.05 (0.44)	32.18 (0.46)	32.28 (0.39)	32.40 (0.42)	32.48 (0.40)	32.50 (0.41)	32.50 (0.35)	32.53 (0.36)	32.43 (0.36)	32.35 (0.38)	32.28 (0.40)	32.20 (0.36)	32.08 (0.34)	31.83 (0.31)	31.58 (0.33)	31.33 (0.31)	31.08 (0.34)	30.69 (0.45)

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิภายในอาคาร (A1) วันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ

วันที่ 1 (13 ต.ค.) = 31.16 °C (1.57)

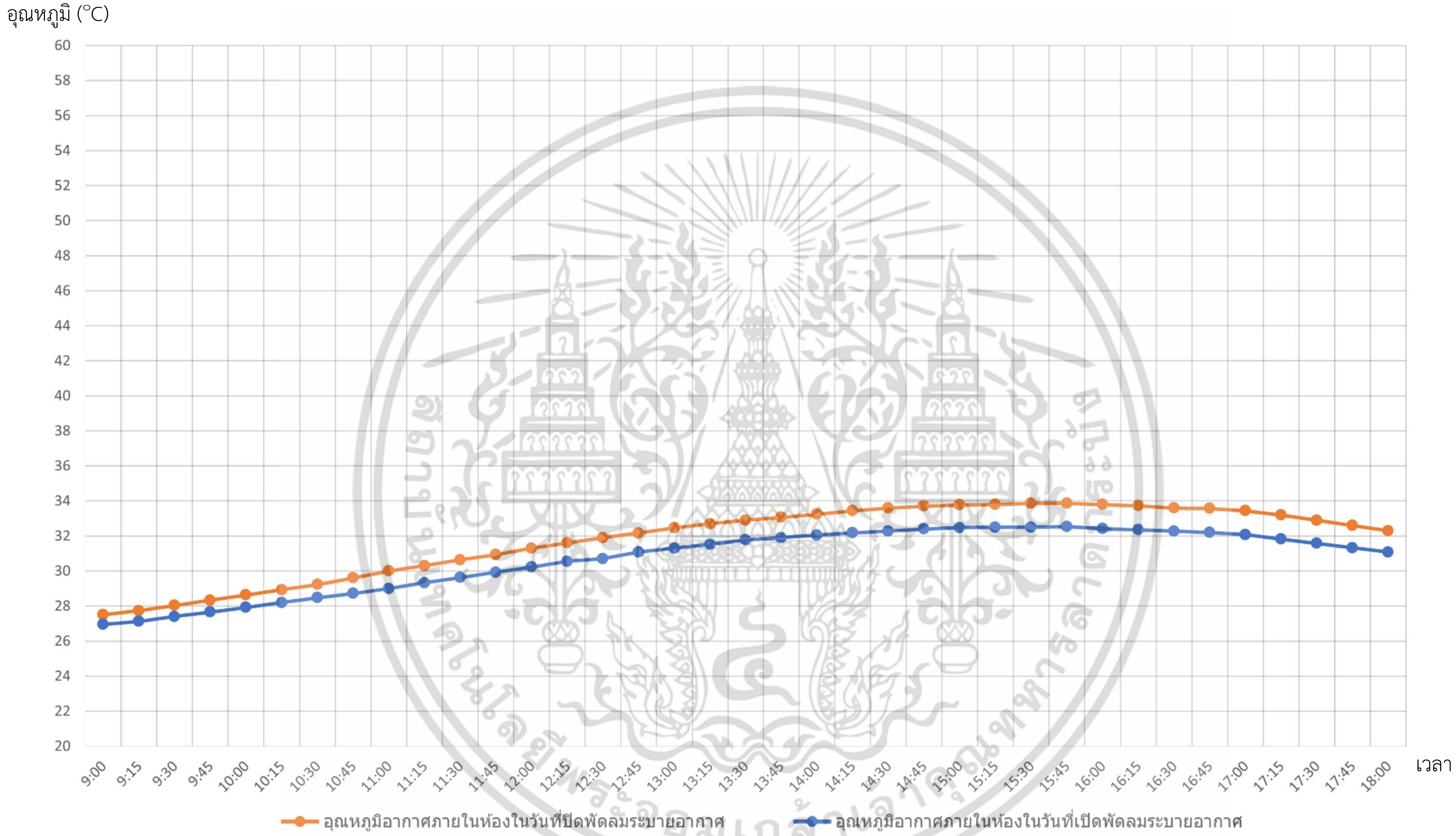
2 (17 ต.ค.) = 30.79 °C (2.03)

3 (29 ต.ค.) = 30.70 °C (1.87)

4 (20 ต.ค.) = 30.09 °C (1.78)

อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 วัน = 30.69 °C (0.45)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงกราฟอุณหภูมิอากาศภายในห้องอาคารกรณีศึกษา (A1) ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.											
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
1 ปิด (12 ต.ค.)	33.30	34.80	36.50	37.70	39.20	40.50	41.60	42.90	44.20	45.40	46.30	46.80
2 ปิด (18 ต.ค.)	31.30	32.90	34.30	35.60	37.20	38.50	39.80	41.30	42.80	43.90	45.10	46.20
3 ปิด (23 ต.ค.)	32.30	34.40	35.90	37.20	38.90	40.30	41.40	42.80	44.20	45.00	46.10	46.80
$\bar{X}$(SD)	32.30 (1.00)	34.03 (1.00)	35.57 (1.14)	36.83 (1.10)	38.43 (1.08)	39.77 (1.10)	40.93 (0.99)	42.33 (0.90)	43.73 (0.81)	44.77 (0.78)	45.83 (0.64)	46.60 (0.35)

วัน	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45
1 ปิด (12 ต.ค.)	47.70	48.30	49.00	49.70	50.30	50.70	50.80	50.90	50.70	50.40	50.00	49.30
2 ปิด (18 ต.ค.)	47.00	47.70	48.30	48.80	49.10	49.30	49.00	48.90	48.90	48.80	48.30	47.70
3 ปิด (23 ต.ค.)	47.90	48.60	49.50	49.70	49.60	49.50	49.50	49.50	49.20	49.20	49.00	48.60
$\bar{X}$(SD)	47.53 (0.47)	48.2 (0.46)	48.93 (0.60)	49.40 (0.76)	49.67 (0.93)	49.83 (1.03)	49.77 (0.93)	49.77 (1.03)	49.60 (0.96)	49.47 (0.83)	49.10 (0.85)	48.53 (0.80)

วัน	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{X}$(SD)
1 ปิด (12 ต.ค.)	48.70	47.90	47.00	46.10	45.00	43.70	42.40	41.10	39.70	38.40	37.10	35.60	34.10	44.16 (5.52)
2 ปิด (18 ต.ค.)	46.90	46.00	45.00	44.10	42.90	41.50	40.30	39.00	37.70	36.30	34.80	33.30	32.10	42.45 (5.80)
3 ปิด (23 ต.ค.)	47.90	47.10	46.30	45.20	44.10	43.20	42.20	41.00	39.80	38.40	36.70	35.20	33.90	43.68 (5.39)
$\bar{X}$(SD)	47.83 (0.90)	47.00 (0.95)	46.10 (1.01)	45.13 (1.00)	44.00 (1.05)	42.80 (1.15)	41.63 (1.16)	40.37 (1.18)	39.07 (1.18)	37.70 (1.21)	36.20 (1.23)	34.70 (1.23)	33.37 (1.10)	43.43 (0.88)

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) วันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ

วันที่ 1 (12 ต.ค.) = 44.16 °C (5.52)

2 (18 ต.ค.) = 42.45 °C (5.80)

3 (23 ต.ค.) = 43.68 °C (5.39)

อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน = 43.43 °C (0.88)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.											
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
1 เปิด (13 ต.ค.)	31.60	33.40	34.60	35.90	37.10	38.10	39.40	40.40	41.70	43.10	43.70	44.00
2 เปิด (17 ต.ค.)	31.10	33.30	35.10	36.60	38.10	39.50	40.90	42.10	43.20	44.00	44.90	46.00
3 เปิด (19 ต.ค.)	30.90	32.40	33.90	35.20	36.50	37.90	39.20	40.40	41.20	42.20	43.20	44.10
4 เปิด (20 ต.ค.)	29.40	31.50	32.70	33.70	34.70	35.40	35.50	36.00	37.10	38.80	40.60	41.90
$\bar{x}$(SD)	30.75 (0.95)	32.65 (0.89)	34.08 (1.04)	35.35 (1.24)	36.60 (1.43)	37.73 (1.71)	38.75 (1.71)	39.73 (2.30)	40.80 (2.61)	42.03 (2.27)	43.10 (1.81)	44.00 (1.68)

วัน	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45
1 เปิด (13 ต.ค.)	44.70	45.00	45.20	45.60	45.70	46.50	45.90	45.30	45.30	44.40	44.30	44.50
2 เปิด (17 ต.ค.)	47.10	47.90	48.50	48.90	49.10	49.20	49.10	49.10	48.90	48.50	48.00	47.30
3 เปิด (19 ต.ค.)	44.60	45.30	45.70	46.10	46.60	47.00	47.20	47.10	46.90	46.50	46.00	45.40
4 เปิด (20 ต.ค.)	42.90	43.80	44.50	45.30	45.60	45.90	46.10	46.00	45.90	45.60	45.20	44.60
$\bar{x}$(SD)	44.83 (1.73)	45.50 (1.73)	45.98 (1.75)	46.48 (1.65)	46.75 (1.63)	47.15 (1.44)	47.08 (1.47)	46.88 (1.66)	46.75 (1.58)	46.25 (1.73)	45.88 (1.58)	45.45 (1.30)

วัน	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{x}$(SD)
1 เปิด (13 ต.ค.)	43.80	42.10	41.30	40.90	39.70	39.30	38.70	37.20	35.70	34.50	33.30	32.30	31.40	40.42 (4.70)
2 เปิด (17 ต.ค.)	46.60	45.70	44.60	43.60	42.40	41.10	39.80	38.50	37.30	36.00	34.60	33.20	32.00	42.48 (5.71)
3 เปิด (19 ต.ค.)	44.80	44.10	43.30	42.30	41.10	39.90	38.60	37.40	36.20	34.80	33.50	32.20	31.10	40.83 (5.23)
4 เปิด (20 ต.ค.)	44.10	43.30	42.50	41.60	40.40	39.20	37.90	36.90	35.80	34.60	33.20	31.90	30.90	39.49 (5.23)
$\bar{x}$(SD)	44.83 (1.26)	43.80 (1.51)	42.93 (1.39)	42.10 (1.15)	40.90 (1.15)	39.88 (0.87)	38.75 (0.79)	37.50 (0.70)	36.25 (0.73)	34.98 (0.69)	33.65 (0.65)	32.40 (0.56)	31.35 (0.48)	40.81 (1.25)

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) วันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ

วันที่ 1 (13 ต.ค.) = 40.42 °C (4.70)

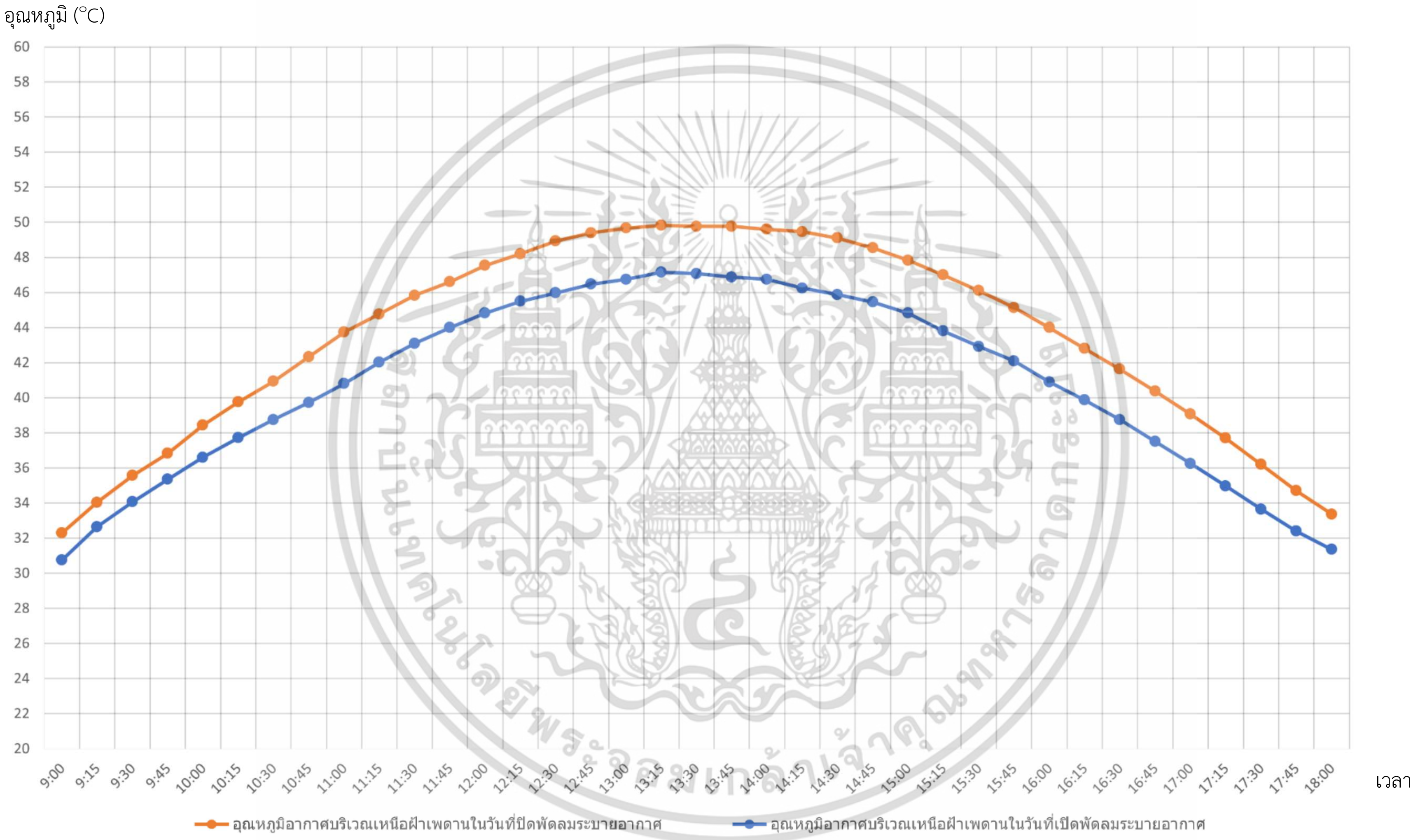
2 (17 ต.ค.) = 42.48 °C (5.71)

3 (29 ต.ค.) = 40.83 °C (5.23)

4 (20 ต.ค.) = 39.49 °C (5.23)

อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 วัน = 40.81 °C (1.25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงกราฟอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A2) ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา (A3) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.																	
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15
1 ปิด (12 ต.ค.)	39.20	41.10	43.10	44.60	46.30	47.70	49.00	50.30	51.50	52.60	53.60	54.30	54.80	55.50	56.10	56.90	57.30	57.50
2 ปิด (18 ต.ค.)	37.10	39.20	40.80	42.30	44.00	45.60	46.90	48.60	50.20	51.20	52.40	53.40	54.30	55.10	55.60	55.90	56.10	56.10
3 ปิด (23 ต.ค.)	37.20	40.30	42.30	43.90	45.80	47.80	48.60	49.80	51.40	52.50	53.30	54.20	55.30	55.90	56.60	56.80	56.30	56.00
X̄(SD)	37.83 (1.18)	40.20 (0.95)	42.07 (1.17)	43.60 (1.18)	45.37 (1.21)	47.03 (1.24)	48.17 (1.12)	49.57 (0.87)	51.03 (0.72)	52.10 (0.78)	53.10 (0.62)	53.97 (0.49)	54.80 (0.50)	55.50 (0.40)	56.10 (0.50)	56.53 (0.55)	56.57 (0.64)	56.53 (0.84)

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.																			
	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	X̄(SD)
1 ปิด (12 ต.ค.)	57.50	57.40	57.10	56.40	55.80	54.90	53.90	52.80	51.60	50.30	48.70	47.10	45.50	44.00	42.40	40.60	38.90	36.90	35.20	49.69 (6.64)
2 ปิด (18 ต.ค.)	55.60	55.20	55.00	54.60	53.70	52.80	51.60	50.30	49.10	47.90	46.20	44.60	43.10	41.50	39.80	38.00	36.10	34.30	32.80	47.76 (7.06)
3 ปิด (23 ต.ค.)	55.90	55.90	55.30	55.00	54.60	53.90	52.80	51.80	50.60	49.00	47.60	46.50	45.50	44.00	42.30	40.50	38.40	36.50	35.00	49.06 (6.56)
X̄(SD)	56.33 (1.02)	56.17 (1.12)	55.80 (1.14)	55.33 (0.95)	54.70 (1.05)	53.87 (1.05)	52.77 (1.15)	51.63 (1.26)	50.43 (1.26)	49.07 (1.20)	47.50 (1.25)	46.07 (1.31)	44.70 (1.39)	43.17 (1.44)	41.50 (1.47)	39.70 (1.47)	37.80 (1.49)	35.90 (1.40)	34.33 (1.33)	48.83 (0.98)

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A3) วันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ

วันที่ 1 (12 ต.ค.) = 49.69 °C (6.64)

2 (18 ต.ค.) = 47.76 °C (7.06)

3 (23 ต.ค.) = 49.06 °C (6.56)

อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน = 48.83 °C (0.98)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา (A3) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.									
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
1 เปิด (13 ต.ค.)	35.70	38.40	39.80	41.60	43.00	44.10	45.70	46.70	48.40	50.10
2 เปิด (17 ต.ค.)	35.50	39.50	42.00	44.00	45.60	47.40	48.70	50.00	51.10	52.00
3 เปิด (19 ต.ค.)	35.70	38.20	40.30	42.00	43.70	45.20	46.70	48.00	48.80	49.60
4 เปิด (20 ต.ค.)	31.70	35.50	37.20	38.30	39.50	40.00	39.80	40.50	42.20	44.70
X̄(SD)	34.65 (1.97)	37.90 (1.70)	39.83 (1.99)	41.48 (2.36)	42.95 (2.55)	44.18 (3.10)	45.23 (3.83)	46.30 (4.10)	47.63 (3.81)	49.10 (3.11)

วัน	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45
1 เปิด (13 ต.ค.)	50.50	50.40	51.20	51.10	51.10	51.60	51.30	52.70	51.20	50.20
2 เปิด (17 ต.ค.)	52.90	54.10	55.20	56.00	56.50	56.90	57.00	56.80	56.60	56.40
3 เปิด (19 ต.ค.)	50.70	51.80	52.30	52.90	53.20	53.50	53.90	54.30	54.50	54.00
4 เปิด (20 ต.ค.)	47.10	48.70	49.80	50.70	51.20	51.90	52.20	52.40	52.50	52.20
X̄(SD)	50.30 (2.39)	51.25 (2.28)	52.13 (2.29)	52.68 (2.41)	53.00 (2.53)	53.48 (2.43)	53.60 (2.51)	54.05 (2.01)	53.70 (2.36)	53.20 (2.64)

วัน	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15
1 เปิด (13 ต.ค.)	50.20	48.90	48.90	49.30	48.20	45.60	44.70	44.30	42.70	42.20
2 เปิด (17 ต.ค.)	56.00	55.30	54.40	53.40	52.30	51.00	49.60	48.10	46.50	44.90
3 เปิด (19 ต.ค.)	53.60	52.90	52.10	51.10	50.30	49.20	48.00	46.60	45.10	43.60
4 เปิด (20 ต.ค.)	51.80	51.30	50.60	49.70	48.80	47.70	46.50	45.20	43.70	42.30
X̄(SD)	52.90 (2.49)	52.10 (2.69)	51.50 (2.33)	50.88 (1.85)	49.90 (1.83)	48.38 (2.29)	47.20 (2.09)	46.05 (1.66)	44.50 (1.66)	43.25 (1.27)

วัน	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	X̄(SD)
1 เปิด (13 ต.ค.)	41.50	39.40	37.50	35.80	34.40	33.20	32.10	44.96 (6.00)
2 เปิด (17 ต.ค.)	43.40	41.70	40.00	38.20	36.40	34.50	32.90	48.45 (7.33)
3 เปิด (19 ต.ค.)	41.90	40.10	38.50	36.80	35.10	33.40	32.00	46.48 (6.73)
4 เปิด (20 ต.ค.)	40.80	39.60	38.10	36.40	34.70	33.00	31.80	44.06 (6.65)
X̄(SD)	41.90 (1.10)	40.20 (1.04)	38.53 (1.07)	36.80 (1.02)	35.15 (0.88)	33.53 (0.67)	32.20 (0.48)	45.99 (1.92)

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิบริเวณเหนือฝ้าเพดาน (A3) วันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ

วันที่ 1 (13 ต.ค.) = 44.96 °C (6.00)

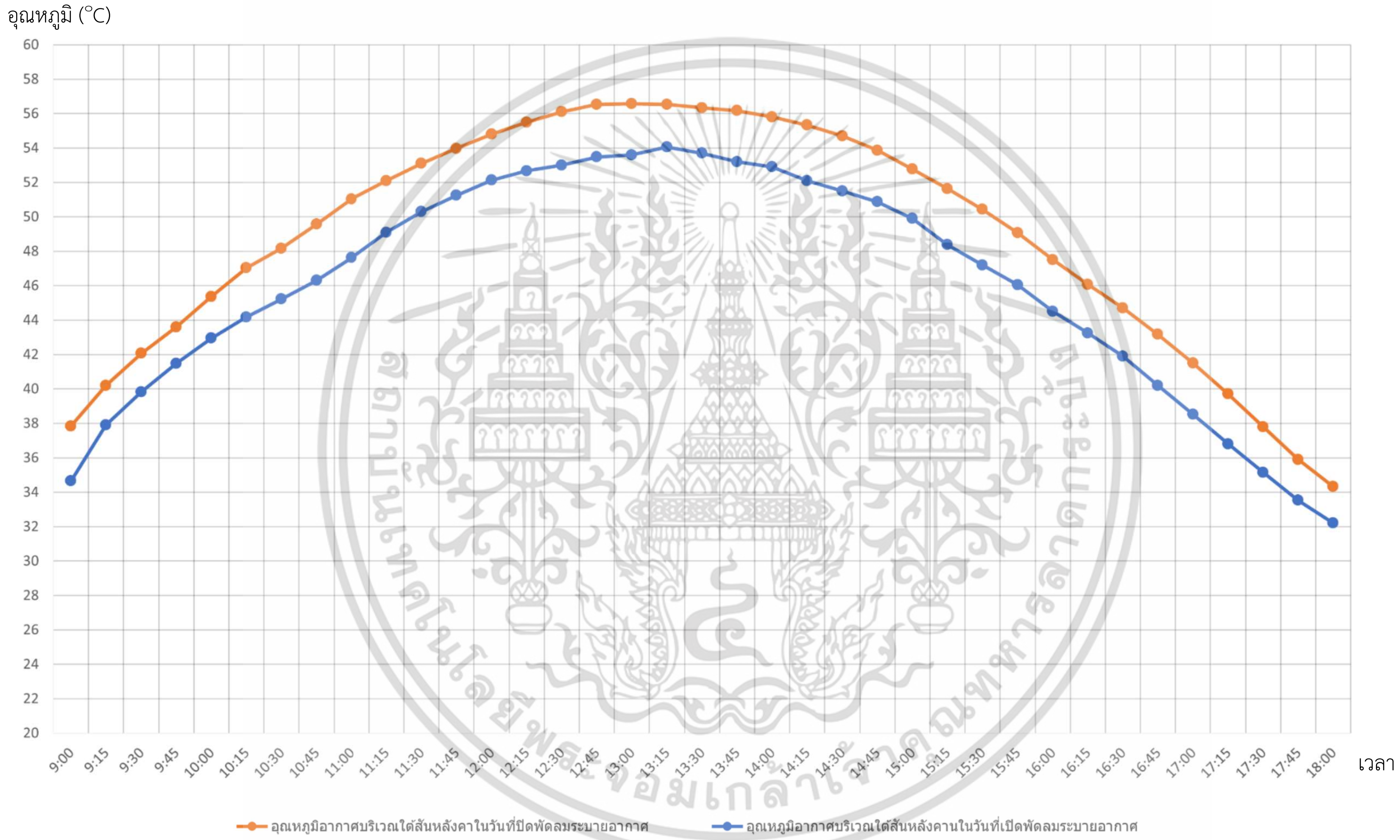
2 (17 ต.ค.) = 48.45 °C (7.33)

3 (29 ต.ค.) = 46.48 °C (6.73)

4 (20 ต.ค.) = 44.06 °C (6.65)

อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 วัน = 45.99 °C (1.92)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงกราฟอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้สันหลังคา (A3) ในวันที่ปิด และเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในห้อง, เหนือฝ้าเพดาน และใต้สันหลังคา ในวันที่ปิดพัดลม และวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศด้วยสถิต T-test พบว่าทั้งสามจุดตรวจวัดมีอุณหภูมิของอากาศในวันที่เปิดพัดลมต่ำกว่าวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P-value = 0.025, 0.014 และ 0.035 ตามลำดับ โดยค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในวันที่ปิดและเปิดพัดลมระบายอากาศ เท่ากับ 1.10 °C, 2.62°C และ 2.84 °C ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11

ตาราง 4.11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในห้อง, เหนือฝ้าเพดาน และใต้สันหลังคาในวันที่ปิดพัดลม และวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ

จุดตรวจวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (°C)				d	*t*	*P – value*
	ปิดพัดลมระบายอากาศ		เปิดพัดลมระบายอากาศ				
	$\bar{X}$	*SD*	$\bar{X}$	*SD*			
อุณหภูมิอากาศภายในห้อง	31.79	0.71	30.69	0.45	1.10	-2.565	0.025
อุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดาน	43.43	0.88	40.81	1.25	2.62	-3.072	0.014
อุณหภูมิอากาศใต้สันหลังคา	48.83	0.98	45.99	1.92	2.84	-2.308	0.035

4.2.3 การคำนวณข้อมูล

4.2.3.1 การคำนวณอัตราการไหลอากาศ (Q)

จากการตรวจวัดความเร็วลม ณ จุดตรวจวัด (C) ได้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมในท่อเท่ากับ 10.15 m/s (0.30) ซึ่งจากสมการ $q_s = 60\ Q\ \rho C_p\ \Delta T$ สามารถค่าแทนตัวแปรได้ ดังนี้

จาก Q คือ อัตราการไหลของอากาศในหน่วย cfm ในสมการ Q = AV

แปลงหน่วยในสมการ โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดอากาศหรือขนาดพัดลม อยู่ในหน่วย ft^2

V คือ ความเร็วอากาศ อยู่ในหน่วย ft/min

จะได้ $A = 0.085\ ft^2$

V = 1998.03 ft/min

แทนค่าในสมการ จะได้อัตราการไหลของอากาศ Q = 0.085 x 1998.03

= 169.83 cfm

จากข้อมูลผู้ผลิตพัดลมระบายอากาศ จะได้อัตราการไหลเป็น 236 cfm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลอากาศในพื้นที่จริงมีค่าลดลงจากข้อมูลผู้ผลิต 236-139.83 = 96.17 cfm

4.2.2.2 การคำนวณปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (**q_s**)

จากสมการ $q_s = 60\ Q\ \rho C_p\ \Delta T$

q_s คือ ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu / h)

60 คือ จำนวนนาทีที่มีการไหลของอากาศใน 1 ชั่วโมง

Q คือ อัตราการไหลของอากาศในหน่วย cfm

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (lbm / ft^3) มีค่าประมาณ 0.075 lbm / ft^3

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu / lb ^oF) มีค่าประมาณ 0.24 Btu / lb ^oF

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายใน และภายนอก (^oF)

หาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคา ณ จุดตรวจวัด (A2) และ (A3) กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (A4) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศ โดยที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศพื้นที่ใต้หลังคาหาได้จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศเหนือฝ้าเพดานกับค่าเฉลี่ยอุณ หภูมิอากาศเหนือสันหลังคา จะได้ (40.81 + 45.99) / 2 = 43.4 °C และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร = 29.52 °C

แปลงให้อยู่ในหน่วย ^oF จะได้

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา = 110.12 ^oF

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร = 85.14 ^oF

แทนอัตราการไหลอากาศ Q จากการวัดในพื้นที่จริง = 139.83 cfm

แทนค่าทั้งหมดในสมการ จะได้ $q_s = 60\ (169.83)\ 0.075 \times 0.24 \times (110.12 - 85.14)$

$q_s = 4581.81$ Btu / h

ถ้าคำนวณ CFM จากผู้ผลิตพัดลมระบายอากาศ จะได้เป็น 236 cfm ซึ่งเมื่อแทนในสมการ จะได้

$q_s = 60\ (236)\ 0.075 \times 0.24 \times (110.12 - 85.14)$

$q_s = 6366.90$ Btu / h

q_s หรือปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu / h) สำหรับการวัดในพื้นที่จริง เทียบกับการคำนวณ CFM จากผู้ผลิตพัดลมระบายอากาศนั้นมีค่าลดลง 1785.09 Btu /h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาการลดอุณหภูมิในอาคารชั้นเดียวโดยการระบายอากาศใต้หลังคาด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดอุณหภูมิในอาคารได้ใน 3 จุด คือ ภายในห้อง เหนือฝ้าเพดาน และใต้สันหลังคา

1) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องในกลุ่มวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศน้อยกว่ากลุ่มวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ 1.09°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value = 0.025) โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องในวันที่ปิดพัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 31.79°C (*SD*.0.71) และในวันที่เปิดพัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 30.69°C (*SD*.0.45)

2) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเหนือฝ้าเพดานในกลุ่มวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศน้อยกว่ากลุ่มวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ 2.62°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value = 0.014) โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเหนือฝ้าเพดานในวันที่ปิดพัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 43.43°C (*SD*.0.88) และในวันที่เปิดพัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 40.81°C (*SD*.1.25)

3) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยใต้สันหลังคาในกลุ่มวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศน้อยกว่ากลุ่มวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ 2.84°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value =0.035) โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องในวันที่ไม่เปิดพัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 48.83°C (*SD*.0.98) และในวันที่เปิดพัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 45.99°C (*SD*.1.92)

4) ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ ($\mathbf{q_s}$) ในพื้นที่ใต้หลังคามีค่า 4581.81 Btu / h

5.2 ข้อเสนอแนะ

องค์ความรู้ที่ได้ของงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยต่อยอดเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการพาความร้อนแบบบังคับ หรือ Forced Convection และเป็นข้อสังเกตหรือแนวทางหนึ่งในการลดพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับ อากาศ และเพื่อความครบถ้วนสมบูรณ์ในการวิเคราะห์ เกี่ยวกับการใช้ระบบระบายอากาศในการลดอุณหภูมิ ควรพิจารณาในแง่มุมต่อไปนี้เพิ่มเติมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การวิเคราะห์ข้อมูลจากการ Simulations นั้น สามารถช่วยกำหนดทิศทางของรูปแบบการทดลองได้ แต่จากการทดสอบในสถานที่จริงนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ทั้งหมด ทำให้ผลการทดสอบจาก Simulations กับจากสถานที่จริงนั้นแตกต่างกัน

2) จากการ Simulations การมีหรือไม่มีฮูดนั้น มีความสามารถในการลดอุณหภูมิได้ค่อนข้างน้อยมาก อาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งในการใช้งานจริง เนื่องจากใช้เวลาติดตั้ง และต้องเสียต้นทุนเพิ่มเติม

3) เกณฑ์ในการคัดเลือกวันเก็บข้อมูลการวิจัยครั้งนี้พิจารณาจากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย ได้แก่อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทิศตะวันออก และอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระเบื้องหลังคา (ด้านในหลังคา) โดยใช้ค่าสถิติ T-test เปรียบเทียบสองกลุ่มวัน คือกลุ่มวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ และกลุ่มวันที่เปิดจะต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าทั้งสองกลุ่มวันมีอุณหภูมิทั้งสองจุดไม่แตกต่างกัน (p-value= 0.054 และ p-value= 0.050 ตามลำดับ) แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งสองจุด พบว่าอุณหภูมิของทั้งสองจุดในกลุ่มวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศมีค่าเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มวันที่เปิด โดยอุณหภูมิกลุ่มวันปิดพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 30.79 (*SD*.0.85) กลุ่มวันเปิดพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 29.52°C (*SD*.0.50) จุดอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคา (ด้านในหลังคา) ในวันปิดพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 60.09°C (*SD*.1.82) วันเปิดพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 55.68°C (*SD*.2.50) ซึ่งแนวโน้มค่าเฉลี่ยอุณหภูมิลักษณะนี้อาจมีส่วนส่งผลให้อุณหภูมิที่จุดวัดอื่น ๆ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มวันปิดพัดลมระบายอากาศกับกลุ่มวันเปิดพัดลมระบายอากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) การเก็บข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระเบื้องหลังคา (ด้านในหลังคา) จะเก็บทุก 2 ชั่วโมง ซึ่งจะแตกต่างจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่จุดอื่น ๆ ที่จะเก็บทุก 15 นาที ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาที่ไม่สามารถตั้งเวลาเก็บอัตโนมัติได้ ถ้าจะเก็บทุก 15 นาทีเท่ากับจุดอื่น ๆ ผู้วิจัยจะต้องเข้าไปในห้องเพื่อทำการตรวจวัดทุก 15 นาที การเปิดประตูเข้าออกบ่อย ๆ เพื่อเข้าไปตรวจวัดจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องเปลี่ยนแปลงไปจากที่ควรจะเป็น แต่ในอีกทางหนึ่งการเก็บทุก 2 ชั่วโมงก็อาจทำให้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวกระเบื้องหลังคาไม่ตรงกับสภาพความจริง เนื่องจากจำนวนข้อมูลอุณหภูมิที่นำมาหาค่าเฉลี่ยมีเพียง 5 ค่าต่อวัน ในขณะที่จำนวนข้อมูลอุณหภูมิจุดอื่น ๆ ที่นำมาเฉลี่ยมีถึง 37 ค่าต่อวัน

5) อุณหภูมิของอากาศที่จุดเหนือฝ้าเพดาน และจุดใต้สันหลังคา อาจมีความคลาดเคลื่อนไปในทางสูงขึ้นกว่าปกติ เนื่องจากจุดที่ตรวจวัดอยู่ห่างจากเหล็กโครงหลังคาประมาณ 20 เซนติเมตร ซึ่งอาจได้รับรังสีความร้อนจากเหล็กโครงหลังคาที่สะสมความร้อนไว้มาก

6) จากการทดสอบในพื้นที่จริงพบว่า อัตราการระบายอากาศหรือ Q นั้นลดลงเมื่อวัดจากพื้นที่จริงเปรียบเทียบกับแทนค่า Q ในหน่วย CFM ที่ได้จากผู้ผลิตพัดลมระบายอากาศ ซึ่งอาจเกิดจาก h_L ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายอากาศ หรือจากประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศ ทำให้ q_s หรือปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu / h) นั้นมีค่าลดลง 1973.75 Btu / h

7) ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาค่าอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิในพื้นที่ใต้หลังคาด้วยวิธี forced convection หรือศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาระบบระบายอากาศแบบ forced convection โดยใช้พลังงานสะอาดจากแผงโซล่าเซลล์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ฉัตรชัย นิมมล. (2548). **ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ**, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., กรุงเทพมหานคร

ชัชชัย นบธีรานุภาพ. (2542). **พัดลมระบายอากาศ.** วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 47 ฉบับที่ 150. หน้า 35

ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2548). **เทอร์โมฟลูอิด=Thermofluid.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล. (2539). **การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น: กรณีศึกษาอาคารรของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสภาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิรันดร์ วัชโรดม, ณัฐวุฒิ อินทบุตร. (2563). **การออกแบบบ้านประหยัดพลังงานโดยอาศัยการระบายอากาศแบบธรรมชาติ.** เงินกองทุนส่งเสริมงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ศูนย์สุพรรณบุรี ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. หน้า 1

ปุณยวีร์ เต็มธนานันท์. (2554). **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติสำหรับอาคารพาณิชย์ประเภทตึกแถว.** วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. หน้า 1

พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา. (2564). **คู่มือประกอบการเรียนปฏิบัติการรายวิชา 618349 การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม Industrial Ventilation Control,** หลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2550). **การศึกษาประสิทธิผลในการลดความร้อนจากหลังคาโดยวิธีการระบายอากาศและการใช้ฉนวนกันความร้อน.** การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3. หน้า 2

พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2551). **การระบายอากาศร้อนใต้หลังคาสามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้จริงหรือ.** หน้าจั่ว: วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร. หน้า 102-104

วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์. (2549). **การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม.** โรงพิมพ์ธรรมสาร, กรุงเทพมหานคร

วิกรม จำนงค์จิตต์. (2545). **ประสิทธิผลของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยา พวงสมบัติ, จิระศักดิ์ พุกดำ, ดิษฐา นนธิวรวงศ์. (2564). **สมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.** วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, ปีที่ 9 ฉบับที่ 2. หน้า 12-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

ศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม, ติกะ บุนนาค, ปรีดา จันทวงษ์. (2021). **การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง.** วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม. หน้า 11-21

อนุสรณ์ สุขเกษม. (2550). **การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบแท่งทรงกระบอก.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. หน้า 9-10

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2541). **การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย ,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุทัย ประสพชิงชนะ. (2541). **การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาอาคาร.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย ,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2004. **Industrial Ventilation – A Manual of Recommended Practice**, 25th Edition. Cincinnati, Ohio.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. (1989). **ASHRAE Handbook Fundamentals. l-P Edition**. Atlanta Georgia.

Anton TenWold, William B. Rose. (1999). **Issues Related to Venting of Atticsand Cathedral Ceilings.** For Inclusion in Ashrae Transactions 1999, V. 105

Carolinaenergyconservation, (n.d.) **Radiant Barrier Attic Installation in South Carolina & North Carolina**

[Online]. Available: https://www.carolinaenergyconservation.com/insulation/radiant-barrier.html

Civilconstructiontips. (2017). **Building Stack Ventilation System.** [Online]. Available: http://civilconstructiontips.blogspot.com/2017/10/building-stack-ventilation-system.html

C. Nutphuang, S. Chirarattananon, V.D. Hien. (2011). **Application of CFD for Air Flow Analysis Underneath Natural Ventilation with Forced Convection in Roof Attic.** World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering Vol:5, No:3. pp. 115-122

David Beal, Subrato Chandra. (1995). **The Measured Summer Performance of Tile Roof Systems and Attic Ventilation Strategies in Hot, Humid Climates.** Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VI, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. pp.735-760.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

Simulationspace, (2013). **Finite Volume Method (FVM)**. [Online]. Available: http://simulationspace.blogspot.com.blogspot.com/2013/07/finite-volume-analysis-fva.html.

John Nessen. (2014). **Ventilation Short Circuiting: How Short Circuiting Happens and How to Correct It.** [Online]. Available: https://www.roofingcontractor.com/articles/90692-ventilation-short-circuiting-how-short-circuiting-happens-and-how-to-correct-it

Parker, Danny S. (2005). **Florida Solar Energy Center. Literature Review of the Impact and Need for Attic Ventilation in Florida Homes, Revised Draft Report.** Florida Solar Energy Center, University of Central Florida.

Pro Home Improvement. (2017) **What is Short-Circuiting?**. [Online]. Available: https://prohomemi.com/what- is-short-circuiting/

Roberto Lamberts. (1988). **Heat Transfer Through Roofs of Low Cost Brazilian House**. Department of Civil Engineering, University of Leeds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศบริเวณด้านนอกอาคารทิศตะวันออก (A4) ในวันที่เปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.

วัน	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
1 เปิด (13 ต.ค.)	26.40	26.70	26.80	27.30	27.70	28.10	28.50	28.80	29.30	29.70	29.80	29.90
2 เปิด (17 ต.ค.)	26.00	25.40	25.60	25.90	26.40	27.00	27.50	28.00	28.30	28.50	28.70	29.00
3 เปิด (19 ต.ค.)	24.90	25.10	25.50	25.90	26.40	27.10	27.70	28.10	28.40	28.80	29.00	29.40
4 เปิด (20 ต.ค.)	25.50	25.40	25.60	25.90	26.20	26.30	26.30	26.60	26.90	27.30	27.80	28.00
$\bar{x}$	25.70	25.65	25.88	26.25	26.68	27.13	27.50	27.88	28.23	28.58	28.83	29.08

วัน	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45
1 เปิด (13 ต.ค.)	30.20	30.30	30.40	30.70	31.00	31.20	31.10	31.30	31.40	31.40	31.60	32.10
2 เปิด (17 ต.ค.)	29.50	29.60	29.80	30.30	30.60	30.90	31.00	31.30	31.60	31.80	32.00	32.00
3 เปิด (19 ต.ค.)	29.80	30.00	30.10	30.50	30.80	31.10	31.30	31.60	31.80	32.00	32.10	32.20
4 เปิด (20 ต.ค.)	28.40	28.70	28.90	29.30	29.50	29.90	30.10	30.30	30.50	30.70	30.90	30.90
$\bar{x}$	29.48	29.65	29.80	30.20	30.48	30.78	30.88	31.13	31.33	31.48	31.65	31.80

วัน	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{x}$
1 เปิด (13 ต.ค.)	31.60	31.30	31.60	31.40	31.30	31.80	31.20	30.50	30.10	29.60	29.30	28.90	28.60	29.97
2 เปิด (17 ต.ค.)	32.20	32.20	32.10	32.00	31.90	31.70	31.30	30.60	29.80	29.30	28.80	28.40	27.90	29.59
3 เปิด (19 ต.ค.)	32.20	32.20	32.30	32.10	31.80	31.60	31.20	30.60	30.00	29.60	29.10	28.60	28.30	29.71
4 เปิด (20 ต.ค.)	31.10	31.10	31.20	31.20	30.90	30.70	30.40	30.00	29.50	29.00	28.70	28.40	28.00	28.81
$\bar{x}$	31.78	31.70	31.80	31.68	31.48	31.45	31.03	30.43	29.85	29.38	28.98	28.58	28.20	29.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศบริเวณด้านนอกอาคารทิศตะวันออก (A4) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างเวลา 9.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิอากาศ (°C) ระหว่างช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น.																	
	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15
1 ปิด (12 ต.ค.)	26.10	26.30	26.60	26.90	27.50	27.90	28.50	28.90	29.30	29.50	29.80	30.00	30.40	30.70	30.70	31.20	31.60	32.00
2 ปิด (18 ต.ค.)	24.60	25.00	25.40	25.90	26.40	27.00	27.60	28.10	28.60	28.90	29.30	29.50	30.00	30.30	30.60	30.90	31.20	31.40
3 ปิด (23 ต.ค.)	27.20	27.30	27.60	28.00	28.50	29.10	29.60	30.00	30.50	30.70	30.90	31.30	31.60	31.80	32.10	32.30	32.50	32.80
$\bar{x}$	25.97	26.20	26.53	26.93	27.47	28.00	28.57	29.00	29.47	29.70	30.00	30.27	30.67	30.93	31.13	31.47	31.77	32.07

วัน	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	$\bar{x}$
1 ปิด (12 ต.ค.)	32.10	32.40	32.50	32.90	32.90	33.00	33.20	33.20	33.20	33.20	33.40	33.20	32.90	32.30	31.50	30.90	30.40	30.00	29.60	30.72
2 ปิด (18 ต.ค.)	31.60	31.90	32.10	32.40	32.60	32.70	32.80	32.80	32.70	32.70	32.40	32.00	31.70	31.00	30.40	29.90	29.40	28.90	28.40	29.98
3 ปิด (23 ต.ค.)	33.10	33.30	33.50	33.60	33.90	33.90	34.10	34.00	34.10	34.30	34.00	34.10	33.60	32.80	32.10	31.50	31.10	30.60	30.30	31.67
$\bar{x}$	32.27	32.53	32.70	32.97	33.13	33.20	33.37	33.33	33.33	33.40	33.27	33.10	32.73	32.03	31.33	30.77	30.30	29.83	29.43	30.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาบริเวณใต้หลังคา (B) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ ระหว่างเวลา 10.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาบริเวณใต้หลังคา (°C) ระหว่างช่วงเวลา 10.00 – 18.00 น.					
	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	$\bar{x}$
1 ปิด (12 ต.ค.)	63.10	74.70	76.30	62.40	34.00	62.1
2 ปิด (18 ต.ค.)	60.20	73.10	73.80	57.00	28.70	58.56
3 ปิด (23 ต.ค.)	61.60	74.20	73.80	57.60	30.80	59.60
$\bar{x}$	61.63	74.00	74.63	59.00	31.17	60.09

แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาบริเวณใต้หลังคา (B) ในวันที่ปิดพัดลมระบายอากาศ ระหว่างเวลา 10.00-18.00 น.

วัน	อุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาบริเวณใต้หลังคา (°C) ระหว่างช่วงเวลา 10.00 – 18.00 น.					
	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	$\bar{x}$
1 เปิด (12 ต.ค.)	55.70	67.90	61.00	50.70	31.00	53.26
2 เปิด (18 ต.ค.)	61.70	74.70	73.30	54.40	30.20	58.86
3 เปิด (23 ต.ค.)	61.40	70.30	69.80	53.70	26.80	56.40
4 เปิด (23 ต.ค.)	48.10	69.20	70.10	54.30	29.30	54.20
$\bar{x}$	56.73	70.53	68.55	53.28	29.33	55.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายพชร เย็นใจ

วัน เดือน ปีเกิด 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2541

ที่อยู่ 599/157 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองจะบก อำเภอเมืองนครราชสีมา
จังหวัดนครราชสีมา 30000

E-mail petchpachara.41@gmail.com

โทรศัพท์ 082-679-8195

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2563 สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (สถ.บ.) สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน
คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565 สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สถ.ม.) สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้