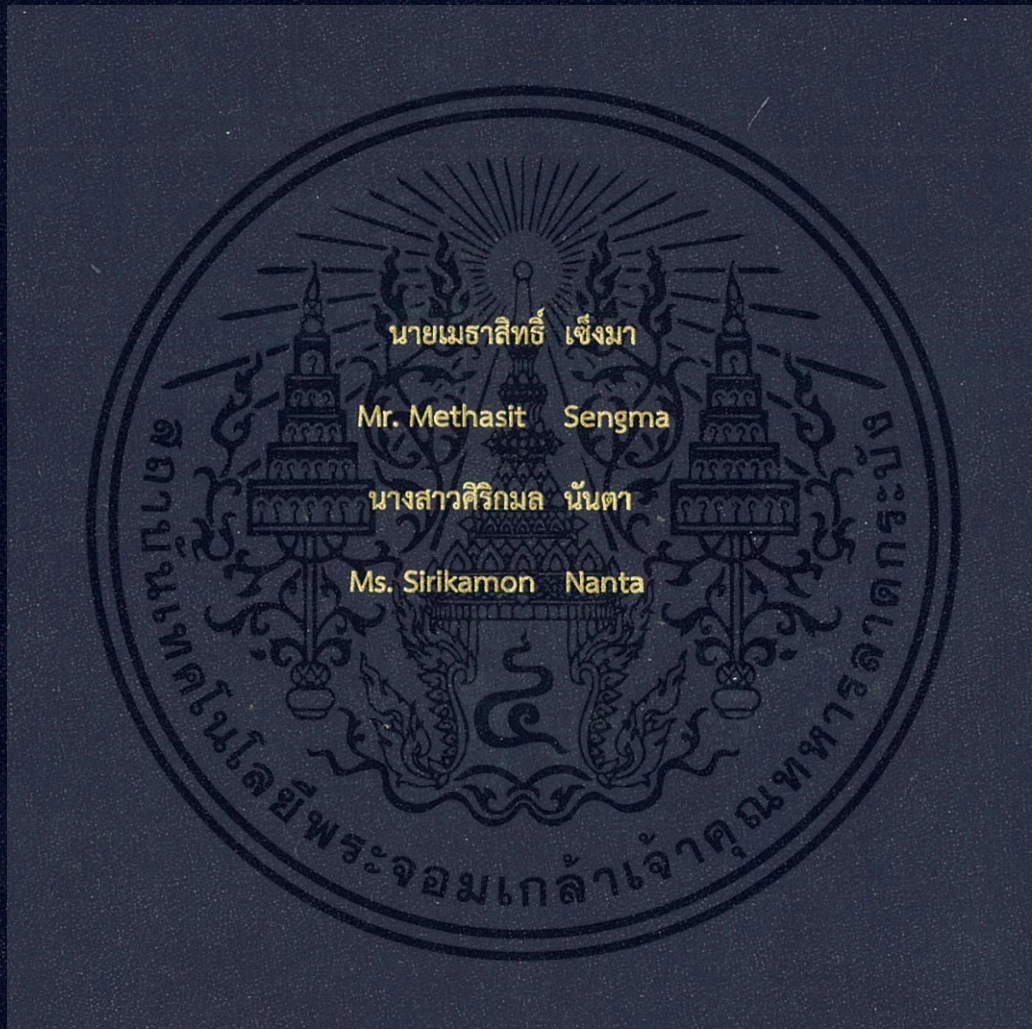


ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL WITH
AN EVAPORATIVE COOLING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL WITH
AN EVAPORATIVE COOLING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL WITH AN EVAPORATIVE COOLING SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบ
ระเหย

TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL WITH
AN EVAPORATIVE COOLING SYSTEM

นักศึกษา

นายเมธาสิทธิ์ เจริงมา รหัสประจำตัว 58011021

นางสาวศิริกมล นันตา รหัสประจำตัว 58011212

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์


(รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต)


(ผศ.ดร.อุดม จันท์จรัสสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

นักศึกษา

นายเมธาสิทธิ์ เช็งมา

นางสาวศิริกมล นันตา

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย การศึกษานี้เริ่มต้นจากการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ห้องลดอุณหภูมิและความชื้นขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร และ 2) ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 115 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามแบบที่ออกแบบไว้ ต่อจากนั้นทำการศึกษาปัจจัยของการมีหรือไม่มีแผ่นสารดูดความชื้นและระดับอุณหภูมิของน้ำภายใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 5 ระดับ (28°C , 26°C , 25.5°C , 25°C และ 24.5°C) ต่ออุณหภูมิและความชื้นในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ผลการทดลองพบว่า 1) เมื่ออุณหภูมิน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ระดับ $T_w = 24.5^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 5°C จากอุณหภูมิภายนอก และ 2) การใช้แผ่นสารดูดความชื้นสามารถลดความชื้นในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมากกว่าเทียบกับเมื่อไม่ใช้แผ่นสารดูดความชื้น

Thesis Title Temperature and Humidity with an Evaporative Cooling System
Student Mr. Methasit Sengma
 Ms. Sirikamon Nanta
Degree Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2018
Thesis Advisor Assoc.Prof.Dr. Sakon Klongboonjit
 Assit.Prof.Dr. Udom Janjarassuk

ABSTRACT

This thesis purposes to study how to control temperature and humidity with an evaporative cooling system. This study starts with design an experiment set that consists of 2 parts: 1) A temperature and humidity reduction room size of 30 cm x 35 cm x 30 cm and 2) A temperature and humidity control room size of 30 cm x 115 cm x 30 cm. After that, the experiment set is built following the design. Next, the factors of the with/without desiccant pad and the 5 levels of water temperature inside the heat exchanger (28°C, 26°C, 25.5°C, 25°C and 24.5°C) are analyzed to find out the effect of them on temperature and humidity in control room. The experimental results show that 1) The water temperature in the heat exchanger at $T_w = 24.5^\circ\text{C}$ can induce the lowest temperature inside the temperature and humidity control room below the ambient temperature about 5°C and 2) The desiccant pad can really reduce humidity in the temperature and humidity control room comparing to the case of without desiccant pad.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ช่วยเหลือในการแก้ไขข้อบกพร่องระหว่างการปฏิบัติงาน รวมทั้งตรวจแก้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง และสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรมและชุดคำสั่งให้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระยะเหยให้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการทดลองต่าง ๆ การดำเนินการด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องจนการทดลองสำเร็จไปได้ด้วยดี

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและอาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้จัดทำให้มีความรู้ในการคิดแก้ไข ปัญหา และนำความรู้ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมไปถึงผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนาม และ เพื่อน ๆ ที่คอยให้การสนับสนุนและคำแนะนำตลอดมา หากมีสิ่งที่มีผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายเมธาสิทธิ์ เติ้งมา

นางสาวศิริกมล นันตา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ตารางการดำเนินการ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ.....	5
2.1.1 ชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ.....	5
2.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ.....	8
2.2.1 ภาระการปรับอากาศ.....	8
2.2.2 ไฮโครเมตริกชาร์ต.....	8
2.3 ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	13
2.3.1 เทอร์โมไดนามิกส์.....	13
2.3.2 สารผสมของก๊าซอุดมคติ.....	17
2.3.3 สารผสมของก๊าซและไอ.....	19
2.3.4 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน.....	21
2.4 ระบบปรับอากาศแบบระเหย.....	21
2.4.1 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหย.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ระบบปรับอากาศแบบระเหยสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	24
2.4.3 ความแตกต่างระหว่างระบบปรับอากาศแบบระเหยภายในโรงเรือนทางการเกษตรกับ ระบบปรับอากาศภายในครัวเรือน	28
2.5 หลักการทำงานของเซนเซอร์	28
2.5.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT 22)	28
2.5.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ (DS18B20)	30
2.5.3 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180)	34
2.5.4 เซนเซอร์วัดความเร็วของลม	35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	41
3.1 ออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	42
3.2 การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์	43
3.3 สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	44
3.3.1 การสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	44
3.3.2 การทดลองการควบคุมอุณหภูมิด้วยอุณหภูมิของน้ำที่แลกเปลี่ยนผ่านอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน	45
3.3.3 การทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนและแผ่นสารดูดความชื้น	46
3.4 รวบรวมข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นระบบปรับอากาศแบบระเหย	46
3.5 การวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	48
3.6 สรุปผลการดำเนินงาน	53
3.6.1 สรุปผลการทดลองอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	53
3.6.2 สรุปผลการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.3 ข้อเสนอแนะ	54
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	55
4.1 ผลของการออกแบบและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	55
4.2 ผลการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์.....	57
4.2.1 ส่วนที่ 1 อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	57
4.2.2 ส่วนที่ 3 บริเวณกลางห้องทดลอง.....	59
4.2.3 ส่วนที่ 4 บริเวณท้ายห้องควบคุม.....	60
4.3 ผลของการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย.....	63
4.4 ผลการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นระบบปรับอากาศแบบระเหย	63
4.5 ผลของการทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย.....	63
4.5.1 ผลของอุณหภูมิน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น	63
4.5.2 ผลของแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น	114
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	124
5.1 สรุปผลการทดลองอุณหภูมิน้ำที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น	124
5.2 สรุปผลการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่อความชื้น	124
5.3 ข้อเสนอแนะ	125
5.3.1 ข้อเสนอแนะการทดลองอุณหภูมิน้ำที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น	125
5.3.1 ข้อเสนอแนะการทดลองอุณหภูมิน้ำที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น	126
5.4 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	126
เอกสารอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก.....	ผ-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบ ปรับอากาศแบบระเหยขนาดเล็ก	4
ตารางที่ 2.1 ตารางกระบวนการปรับสภาวะอากาศ	11
ตารางที่ 2.2 ตารางค่าเอนทาลปีของอากาศ	13
ตารางที่ 2.3 คำแนะนำที่ใช้ประกอบการคำนวณ ระบบ Evap. สำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	27
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศ UT FAN 50	27
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของ Cooling Pad – CeLPad™	28
ตารางที่ 3.1 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศ แบบระเหย	49
ตารางที่ 3.2 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลของผลลัพธ์จากเซนเซอร์บริเวณทางเข้าห้องลดอุณหภูมิและ ความชื้นบริเวณกลางห้องควบคุมและบริเวณทางออกห้องควบคุม	49
ตารางที่ 3.3 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลของผลลัพธ์จากการคำนวณโดยให้บริเวณทางเข้าห้องลดอุณหภูมิ และความชื้นเป็นจุดอ้างอิง	49

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ.....	6
รูปที่ 2.2 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ	6
รูปที่ 2.3 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ	7
รูปที่ 2.4 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ	8
รูปที่ 2.5 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	8
รูปที่ 2.6 แหล่งภาระการทำความเย็น.....	9
รูปที่ 2.7 แผนภาพไซโครเมตริกชาร์ต.....	10
รูปที่ 2.8 กระบวนการปรับสภาวะอากาศ.....	11
รูปที่ 2.10 หลักการทำความเย็นแบบระเหย	22
รูปที่ 2.11 ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบฟุ้งฝอย.....	22
รูปที่ 2.12 ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบแผ่นทำความเย็น	22
รูปที่ 2.13 Fiber Pad ส่วนใหญ่จะทำมาจากไม้ Aspen.....	23
รูปที่ 2.14 กำหนดให้มุมน้ำมีค่า 45° และมุมลมมีค่า 15°	23
รูปที่ 2.15 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT 22).....	29
รูปที่ 2.16 ลำดับของข้อมูลบิตในการอ่านค่าจากไอซีทั้งหมด 5 ไบต์ (40 บิต) สองไบต์แรกสำหรับความชื้น สองไบต์ต่อมาสำหรับอุณหภูมิและไบต์สุดท้ายเป็น checksum หรือ parity bits	30
รูปที่ 2.17 ลำดับของข้อมูลบิตในการอ่านค่าจากไอซีและความกว้างของช่วง LOW และ HIGH	30
รูป 2.18 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ (DS18B20).....	30
รูป 2.19 โครงสร้างรีจิสเตอร์ภายในของ DS18B20.....	31
รูป 2.20 โครงสร้างภายในรีจิสเตอร์ Temperature LSB และ MSB	32
รูป 2.21 การต่อใช้งาน DS18B20	32
รูป 2.22 การเริ่มการติดต่อสื่อสารแบบ 1-wire ด้วย Reset Pulse และ Presence Pulse.....	33
รูป 2.23 การเขียนข้อมูลลง DS18B20	33
รูปที่ 2.24 การอ่านข้อมูลจาก DS18B20	34
รูปที่ 2.25 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180)	34
รูปที่ 2.26 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วลม	36

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	41
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา.....	50
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา	50
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมวลของอากาศแห้งกับเวลา	51
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำกับเวลา.....	51
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งกับเวลา.....	52
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำกับเวลา.....	52
รูปที่ 4.1 ออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	55
รูปที่ 4.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	63
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาแบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	64
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาแบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	65
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาแบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	66
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	67
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	68
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	69
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	70
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	71
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	72

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	73
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	74
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	75
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	76
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	77
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	78
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	79
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	80
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	81
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	82
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	83
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	84
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	85

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส.....	86
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส.....	87
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส.....	88
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส.....	89
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส.....	90
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส.....	91
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส.....	92
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส.....	93
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส.....	94
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส.....	95
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส.....	96
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส.....	97
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส.....	98

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	99
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	100
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	101
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	102
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	103
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	104
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	105
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	106
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	107
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	108
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	109
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	110
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	111
รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และมีองอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	113
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	114
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	115
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	116
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	117
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	118
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส	119
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส	120
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส	121
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	122
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาแบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส	123

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยผู้วิจัยจะกล่าวถึงหัวข้อต่าง ๆ เพื่ออธิบายความเป็นมา แนวคิดในการศึกษาและผลที่คาดว่าจะได้รับโดยสามารถแบ่งหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ที่มาและความสำคัญ
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ
3. ขอบเขตของโครงการ
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
5. ตารางการดำเนินการ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้นมีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูงโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย $30 - 35^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ $70 - 80\%RH$ ซึ่งอิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวันที่ต้องเผชิญกับการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายทั้งการสร้างความร้อน (Heat Production) และการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) นอกจากการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายแล้วอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ยังส่งผลต่อสภาวะความสบายของมนุษย์ ดังนั้นการสร้างระบบที่สามารถควบคุมสภาวะของอากาศคงที่และเหมาะสมต่อความต้องการไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ การกรองและการระบายอากาศเพื่อให้อากาศบริสุทธิ์ ไม่มีสิ่งเจือปน รวมถึงการกระจายอากาศให้ทั่วทั้งพื้นที่ที่ต้องการและมีความเร็วลมที่เหมาะสม โดยเรียกระบบที่สามารถควบคุมสภาวะของอากาศในพื้นที่ที่เราต้องการให้มีความคงที่หรือเกิดการแปรปรวนน้อยที่สุดนี้ว่า ระบบ HVAC ย่อมาจาก Heating Ventilation and Air Conditioning รวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นในอากาศที่สูงยังสร้างปัญหาต่าง ๆ กับการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ ปัญหาของโครงสร้างอาคาร สิ่งของเครื่องใช้ เป็นต้น จึงเกิดการนำระบบปรับอากาศมาใช้เพื่อความสะอาดสบายภายในอาคารบ้านเรือนและงานอุตสาหกรรมเช่น การกระบวนการผลิต การจัดเก็บวัตถุดิบหรือสินค้าคงคลังและการจัดขนส่งสินค้าบางชนิด แต่ปัญหาหลักของการนำระบบปรับอากาศมาปรับใช้งาน คือระบบปรับอากาศใช้พลังงานปริมาณมากทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง

จากปัญหาในข้างต้นได้มีการศึกษาและพัฒนาหลักการปรับอากาศเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาหลากหลายวิธีการ แต่วิธีการทางเลือกที่น่าสนใจในการศึกษา คือระบบปรับอากาศแบบระเหย (Evaporative Cooling System) เป็นระบบที่ใช้พลังงานในการทำงานน้อย เมื่อเทียบกับการใช้ระบบปรับอากาศแบบอื่น ๆ และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการเกษตร และการปศุสัตว์ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการปรับอากาศให้แก่มนุษย์ โดยอาศัยหลักการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ โดยการแบ่งอนุภาคของน้ำให้มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวมาก เมื่ออากาศร้อนผ่านพื้นผิวน้ำ อากาศร้อนส่วนหนึ่งจะถูกน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าดูดความร้อน และน้ำบางส่วนได้รับความร้อนกลายเป็นไอ ผลที่ได้คืออากาศร้อน อุณหภูมิจะลดลงแต่มีปริมาณไอน้ำในอากาศเพิ่มมากขึ้นและน้ำบางส่วนมีอนุภาคเล็กมากที่ยังไม่เปลี่ยนสถานะเมื่อสัมผัสความร้อนจะเปลี่ยนเป็นไอได้รวดเร็ว เปรียบเหมือนสภาวะของบริเวณแหล่งน้ำจะรู้สึกเย็น น้ำบริเวณพื้นที่นั้นจะระเหยกลายเป็นไอโดยที่น้ำระเหยจะดึงความร้อนบริเวณใกล้เคียงไปด้วย จึงทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศใกล้เคียงกันและเมื่อรวมกับวัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้นทุกชนิดมีความคล้ายกันในเรื่องของการดูดซับความชื้นคือเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าต่ำกว่าความดันไอน้ำในอากาศสารดูดความชื้นจะเริ่มดูดไอน้ำในอากาศและเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำของอากาศสารดูดความชื้นคายไอน้ำออกมา

จากที่กล่าวมาข้างต้นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการออกแบบและพัฒนาชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย พัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายหลักการทำงานและศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย แบ่งออกเป็น 4 ประการ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาหลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหยพร้อมทั้งออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย
2. พัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหย
3. ศึกษาผลกระทบของสารดูดความชื้น และอุณหภูมิของน้ำในระบบหล่อเย็นต่อประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย
4. ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิภายนอก 5°C

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย แบ่งออกเป็น 2 ประการ ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย โดยกำหนดให้ห้องลดความชื้นและอุณหภูมิมีขนาด 30 เซนติเมตร × 35 เซนติเมตร × 30 เซนติเมตร และห้องควบคุมมีขนาด 30 เซนติเมตร × 35 เซนติเมตร × 30 เซนติเมตร
2. ชนิดของสารดูดความชื้น คือ ซิลิกาเจลชนิดใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 5 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย แบ่งออกเป็น 2 ประการ ดังต่อไปนี้

1. เรียนรู้หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหยและวิธีพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายหรือทำนายการทำงานจากระบบปรับอากาศแบบระเหย
2. ทราบถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหย

1.5 ตารางการดำเนินการ

ทางผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 1.1

1. กำหนดปัญหา ขอบเขตการศึกษาและศึกษาสภาพปัจจุบัน
2. การศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย
4. ทดสอบการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
5. วิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นต่อประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
6. สรุปผลการทดลองและเสนอแนวทางพัฒนา
7. เขียนรูปเล่มปริญญานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยขนาดเล็ก

ขั้นตอนการดำเนินการ	2561					2562			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. กำหนดปัญหา ขอบเขตการศึกษาและศึกษาสภาพปัจจุบัน	↔								
2. การศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง									
2.1 ระบบปรับอากาศแบบระเหย	↔	↔							
2.2 ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์									
2.3 สารดูดความชื้น									
3. ออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย	↔	↔	↔	↔					
4. ทดสอบการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ						↔	↔		
5. วิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นต่อประสิทธิภาพของชุดควบคุม							↔		
6. สรุปผลการทดลองและเสนอแนวทางพัฒนา								↔	↔
7. เขียนรูปเล่มปริิญาานิพนธ์								↔	↔

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย ผู้วิจัยได้กล่าวถึงองค์ความรู้ แนวคิดและทฤษฎี โดยสามารถแบ่งหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบปรับอากาศ
3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน
4. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบปรับอากาศแบบระเหย
5. หลักการทำงานของเซนเซอร์
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

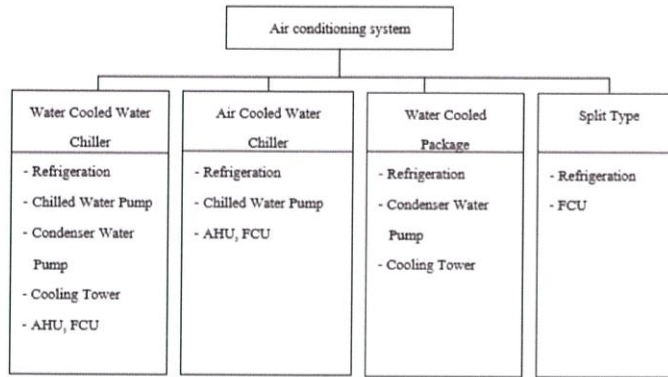
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ [1]

ระบบปรับอากาศ คือ กระบวนการรักษาสภาวะอากาศโดยการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และเสียง ให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัยในอาคารธุรกิจหรือเกิดสภาวะอากาศ ตามความต้องการในโรงงานอุตสาหกรรม

ระบบปรับอากาศเป็นการประยุกต์การใช้งานของระบบทำความเย็น ดังนั้นการทำงานในอุปกรณ์หลักจะเหมือนระบบทำความเย็น ส่วนใหญ่เราใช้ระบบปรับอากาศเพื่อความสบายโดยเฉพาะในสำนักงาน เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น สำหรับอุตสาหกรรมบางประเภทมีการใช้ระบบปรับอากาศในกระบวนการผลิตเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม รวมทั้งการใช้เพื่อระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

2.1.1 ชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ

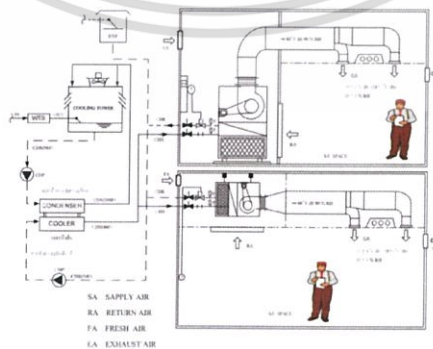
ระบบปรับอากาศในปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นสถานประกอบการจะต้องเลือกประเภทที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์ พลังงานได้มากเมื่อเดินใช้งานระบบ โดยทั่วไประบบปรับอากาศแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้



รูปที่ 2.1 ชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ [1]

2.1.1.1 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำเป็นระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และมีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด โดยการทำงาน แบ่งเป็น 2 วงจร คือ วงจรน้ำเย็นและวงจรน้ำระบายความร้อน โดยวงจรน้ำเย็นเริ่มจากปั๊มน้ำเย็นส่งน้ำเข้าไปรับความเย็นจากสารทำความเย็นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิน้ำเย็นได้ตามต้องการแล้วจึงส่งน้ำเย็นไปยังอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นโดยอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นแต่ละชุดจะมีลิ้นควบคุมปริมาณน้ำซึ่งได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศสูงจะส่งสัญญาณให้ลิ้นเปิดน้ำเข้าชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น หลังจากนั้นน้ำรับความร้อนจากอากาศที่แลกเปลี่ยนแล้วจะกลับไปรับความเย็นจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยการดูดของปั๊มน้ำเย็น ส่วนวงจรน้ำระบายความร้อนจะเริ่มจากปั๊มน้ำระบายความร้อน ส่งน้ำเข้าไปรับความร้อนจากสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นน้ำร้อนที่ได้จะถูกส่งไประบายความร้อนที่หอผึ่งเย็น ซึ่งที่หอผึ่งเย็นนั้นน้ำจะถูกระบายความร้อนด้วยอากาศที่อยู่แวดล้อม หลังจากอุณหภูมิน้ำลดลงตามต้องการจะถูกส่งไปเข้าเครื่องควบแน่นอีกครั้งโดยการดูดของปั๊มน้ำระบายความร้อน ดังนั้นการประหยัดพลังงานในระบบนี้จะต้องเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ให้สูงที่สุดและใช้งานให้สัมพันธ์กับภาระการปรับอากาศดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 6 ข้ออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ

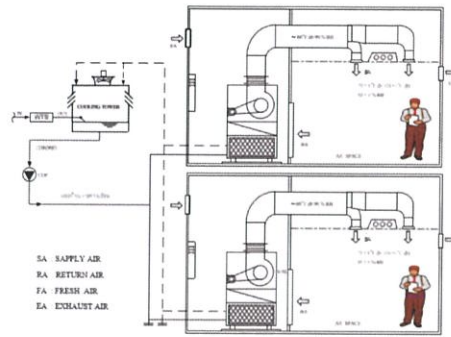
ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ เป็นระบบปรับอากาศที่เล็กกว่าระบบแรกโดยมีความแตกต่างกันที่การระบายความร้อนเท่านั้น ซึ่งระบบนี้จะไม่มีการใช้น้ำระบายความร้อนเพราะจะใช้อากาศในการระบายความร้อน การระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นจะใช้อากาศดูดหรือเป่าไปยังขดท่อความร้อน ซึ่งพัดลมอาจมีจำนวนหลายชุดใน Chiller แต่ละชุด ดังนั้นเครื่องทำน้ำเย็นระบบนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพราะน้ำจะมีความสามารถในการระบายความร้อนสูงกว่า อีกทั้งเมื่อพัดลมบางชุดชำรุดจะเกิดการลัดวงจรของลมทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วย นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศระบบนี้จะมีอายุการใช้งานสั้นเพราะชุดพัดลมจะต้องติดตั้งภายนอกอาคารซึ่งตากแดดตากฝนตลอดเวลา ดังนั้นผู้ใช้ควรดูแลทำความสะอาดและหาวัสดุให้ร่มเงาแก่ชุดพัดลม ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ [1]

2.1.1.3 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

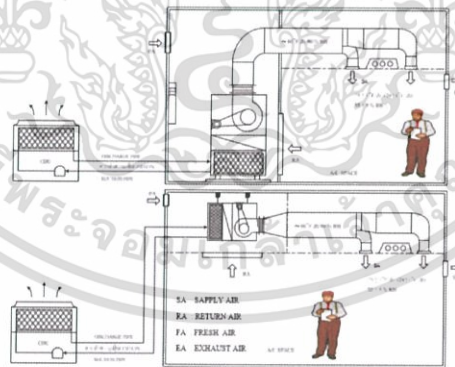
ระบบแบบนี้จะมีขนาดเล็กโดยทั้งชุดอยู่ในบริเวณปรับอากาศซึ่งจะมีคอมเพรสเซอร์อยู่ภายใน แต่จะมีขดท่อระบายความร้อนด้วยน้ำแยกกันแต่ละชุด ดังนั้นปัญหาของระบบนี้ คือ การบำรุงรักษาหรือการทำความสะอาดเครื่องควบแน่นซึ่งมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ส่วนระบบป้อนน้ำระบายความร้อนและหอดึงเย็นจะเหมือนกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอื่น ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องควบแน่นนั้นก็ทำเช่นเดียวกับเครื่องควบแน่นของระบบใหญ่ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ [1]

2.1.1.4 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ระบบชนิดนี้มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับห้องปรับอากาศในโรงงานเพราะสะดวกในการใช้งานและการดูแลรักษาไม่ยุ่งยากมากนักแต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบใหญ่ ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Condensing Unit อาจอยู่นอกห้อง ซึ่งประกอบด้วยขดท่อความร้อน พัดลม และ เครื่องอัดไอ ส่วนที่สอง คือ Fan Coil Unit จะอยู่ภายในห้อง ซึ่งประกอบด้วยขดท่อความเย็นและพัดลมโดยทั้งสองส่วนจะเชื่อมต่อกันด้วยท่อทองแดง สิ่งที่สำคัญของระบบนี้จะต้องทำความสะอาด ขดท่อและกรองอากาศเป็นประจำ รวมทั้งตรวจเช็คปริมาณสารทำความเย็นและฉนวนหุ้มท่อ นอกจากนี้ในการติดตั้งถ้ามีระยะห่างกันเกิน 5 เมตร จะต้องขยายขนาดท่อดูดสารทำความเย็น (ท่อไอ) ให้ใหญ่ขึ้นและเพิ่มปริมาณสารหล่อลื่นเข้าไปในเครื่องอัดไวดังรูปที่ 2.5



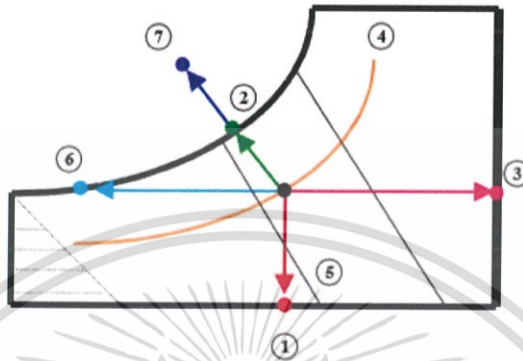
รูปที่ 2.5 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน [1]

2.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศขนาดเล็กโดยทั่วไปจะทำงานโดยใช้พัดลมดูดหรือเป่าอากาศผ่านขดท่อความเย็นทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงตามต้องการเพื่อไปยังจุดใช้งาน ส่วนระบบขนาดใหญ่จะใช้น้ำรับความเย็นจากสารทำความเย็นแล้วส่งน้ำเย็นไปยังอุปกรณ์ส่งลมเย็น (AHU; Air Handling Unit) หรืออุปกรณ์จ่ายลมเย็น (FCU ; Fan Coil Unit) หลังจากนั้นอากาศจะถูกดูดเอากสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 8 องค์อ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ไฮโครเมตริกชาร์ต

อากาศที่อยู่รอบตัวเราประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำซึ่งเรียกว่าอากาศชื้น ดังนั้นการหาปริมาณไอน้ำหรือปริมาณความร้อนที่อยู่ในอากาศชื้นจะต้องใช้แผนภาพไฮโครเมตริกชาร์ต โดยแผนภาพไฮโครเมตริกชาร์ตจะแสดงคุณสมบัติดังนี้



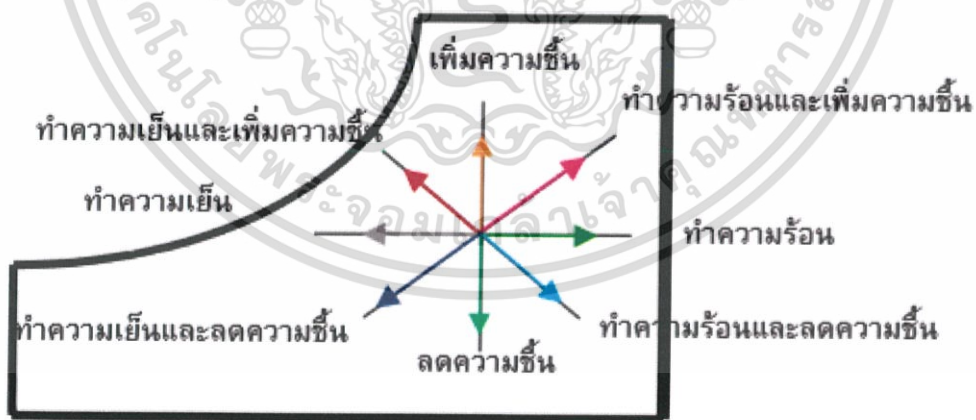
รูปที่ 2.7 แผนภาพไฮโครเมตริกชาร์ต [1]

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, DB) คือ อุณหภูมิที่อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะแห้ง
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, WB) คือ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าสำลีที่ขึ้นโดยต้องมีกระแสลมพัดผ่านกระเปาะเปียกที่ความเร็วไม่น้อยกว่า 5 m/s
3. ความชื้นจำเพาะ (Humidity Ratio) คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างไอน้ำในอากาศต่ออากาศแห้ง 1 kg
4. ความชื้นในอากาศ (Relative Humidity, RH) คือ อัตราส่วนความดันระหว่างความดันของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้นและความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน
5. ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Specific Volume, v) คือ ปริมาตรของอากาศชื้นต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศแห้ง
6. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point, DP) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลง
7. ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Specific Enthalpy, h) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้อากาศแห้ง 1 กิโลกรัมและน้ำ \times กิโลกรัมร้อนขึ้นจาก 0°C เป็น 1°C

สภาวะอากาศทั่วไปจะมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการเพื่อความสบายของคนหรือความต้องการเพื่อการผลิตในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับสภาวะอากาศให้ได้ตามต้องการ ซึ่งกระบวนการปรับสภาวะอากาศโดยทั่วไปมีอยู่ 8 กระบวนการดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางกระบวนการปรับสภาวะอากาศ [1]

กระบวนการปรับสภาวะอากาศ	วิธีการ
1.การทำให้อากาศร้อนขึ้นโดยความชื้นคงที่	ทำโดยใช้ท่อขดความร้อน
2.การทำให้อากาศร้อนขึ้นและเพิ่มความชื้น	ทำโดยใช้ท่อความร้อนและใช้ไอน้ำพ่นเข้าไปในอากาศ
3.การทำให้อากาศร้อนขึ้นและลดความชื้น	ทำโดยใช้ขดท่อความเย็นเพื่อลดความชื้นแล้วจึงให้ความร้อนโดยขดท่อความร้อน
4.การทำให้อากาศเย็นโดยความชื้นคงที่	ทำโดยใช้ท่อขดความเย็นที่อุณหภูมิผิวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอุณหภูมิจุดน้ำค้าง(อุณหภูมิกั่นตัว)ของความชื้นในอากาศ
5.การทำให้อากาศเย็นและเพิ่มความชื้น	ทำโดยใช้น้ำเย็นพ่นเข้าไปในอากาศ
6.การทำให้อากาศเย็นและลดความชื้น	ทำโดยใช้ท่อขดความเย็นที่อุณหภูมิผิวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอุณหภูมิจุดน้ำค้าง(อุณหภูมิกั่นตัว)ของความชื้นในอากาศ
7.การเพิ่มความชื้น	ทำโดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับกระเปราะแห้งของอากาศ
8.การเพิ่มความชื้น	ทำโดยใช้สารดูดความชื้นหรือใช้ขดท่อความเย็นเพื่อทำให้ความชื้นกลั่นตัวแล้วจึงใช้ขดท่อความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่



รูปที่ 2.8 กระบวนการปรับสภาวะอากาศ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 11 อย่างไรก็ตามอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 วิเคราะห์หาสาเหตุจากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จากไซโครเมตริกชาร์ต

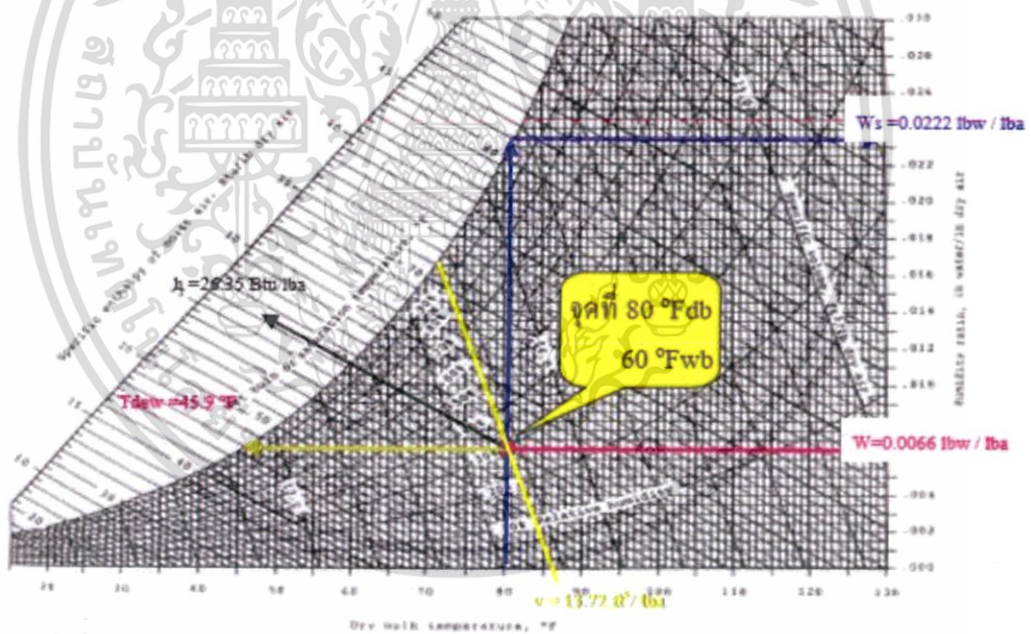
1. อุณหภูมิผิวขดต่อความชื้นที่อากาศผ่านจะต้องต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (TDP) ของอากาศที่เข้าถึงจะทำให้ความชื้นในอากาศกลั่นตัวเป็นของเหลวได้

2. อุณหภูมิน้ำที่ได้จากหอผึ่งเย็นควรจะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าระบบ ความร้อนไม่เกิน 3°C

3. ความสามารถในการทำความเย็นของขดต่อความเย็นหรือทำความร้อนของขดต่อความร้อนเป็นเท่าใดจะต้องหาจากผลต่างของเอนทาลปีของอากาศที่เข้าและออกจากขดต่อ

2.2.2.2 การใช้งานไซโครเมตริกชาร์ต

การใช้งานไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะต้องทราบคุณสมบัติของอากาศ 2 คุณสมบัติเพื่อจะสามารถกำหนดจุดลงไปได้เช่นตรวจวัดอากาศในห้องได้อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 80°F และความชื้นสัมพัทธ์ 30% เมื่อนำมากำหนดจุดบนไซโครเมตริกชาร์ตจะได้อุณหภูมิกระเปาะเปียก 60°F อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 45.9°F อัตราส่วนความชื้น 0.0066 lbw/lba ปริมาตรจำเพาะ $13.72 \text{ ft}^3/\text{lba}$ และเอนทาลปี 26.35 BTU/lba [1]



รูปที่ 2.9 การใช้งานแผนภาพไซโครเมตริก [1]

ตารางที่ 2.2 ตารางค่าเอนทาลปีของอากาศ [1]

คำนวณจากปีของอากาศ (Btu/lb)

อุณหภูมิของอากาศ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)											
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
15	15.764	19.343	19.924	20.306	21.089	21.673	22.257	22.843	23.43	24.018	24.607	25.197
16	19.506	20.126	20.746	21.365	21.99	22.614	23.239	23.865	24.493	25.121	25.751	26.381
17	20.266	20.929	21.591	22.253	22.92	23.586	24.254	24.923	25.593	26.265	26.938	27.612
18	21.048	21.754	22.461	23.169	23.879	24.591	25.304	26.018	26.734	27.451	28.17	28.89
19	21.85	22.602	23.356	24.112	24.87	25.629	26.39	27.153	27.917	28.683	29.451	30.22
20	22.672	23.473	24.279	25.085	25.893	26.703	27.515	28.329	29.145	29.962	30.782	31.604
21	23.518	24.373	25.23	26.09	26.951	27.815	28.681	29.549	30.419	31.292	32.167	33.044
22	24.387	25.298	26.211	27.127	28.046	28.966	29.89	30.815	31.744	32.674	33.605	34.538
23	25.281	26.251	27.224	28.2	29.175	30.159	31.143	32.13	33.12	34.112	35.105	36.106
24	26.201	27.234	28.269	29.309	30.351	31.396	32.444	33.496	34.551	35.609	36.67	37.735
25	27.148	28.247	29.35	30.456	31.566	32.679	33.795	34.916	36.04	37.167	38.299	39.433
26	28.124	29.294	30.467	31.644	32.825	34.01	35.199	36.392	37.589	38.791	39.996	41.206
27	29.131	30.374	31.622	32.874	34.13	35.392	36.637	37.926	39.203	40.482	41.767	43.056
28	31.24	32.644	34.054	35.47	36.891	38.315	39.751	41.19	42.635	44.085	45.542	47.005
29	31.24	32.644	34.054	35.47	36.891	38.315	39.751	41.19	42.635	44.085	45.542	47.005
30	32.346	33.838	35.336	36.84	38.351	39.869	41.393	42.923	44.461	46.005	47.555	49.113
31	33.489	35.073	36.664	38.262	39.865	41.481	43.101	44.729	46.365	48.005	49.653	51.317
32	34.67	36.351	38.041	39.738	41.444	43.155	44.851	46.612	48.361	50.099	51.806	53.621
33	35.89	37.675	39.465	41.271	43.033	44.904	46.735	48.575	50.425	52.254	54.153	56.032
34	37.133	39.046	40.949	42.863	44.787	46.722	48.667	50.623	52.59	54.567	56.536	58.535
35	38.46	40.467	42.487	44.519	46.561	48.615	50.652	52.76	54.631	56.934	59.069	61.196
36	39.812	41.941	44.083	46.235	48.406	50.555	52.752	54.991	57.215	59.449	61.695	63.962
37	41.213	43.47	45.741	48.027	50.325	52.643	54.974	57.32	59.682	62.055	64.451	66.859
38	42.664	45.066	47.464	49.865	52.329	54.757	57.262	59.733	62.263	64.769	67.333	69.595
39	44.165	46.702	49.254	51.825	54.414	57.022	59.65	62.296	64.962	67.647	70.332	73.075
40	45.727	48.411	51.116	53.841	56.537	59.355	62.143	64.933	67.755	70.64	73.516	76.413

2.3 ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ [2]

2.3.1 เทอร์โมไดนามิกส์

2.3.1.1 นิยามทางเทอร์โมไดนามิกส์

มวลควบคุม (หรือระบบปิด) หมายถึง ปริมาณที่แน่นอนของสสารหนึ่ง ๆ ที่ต้องการศึกษา พฤติกรรมทางอุณหพลวัต ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. มวลควบคุมจะแยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยขอบเขตของระบบ
2. มวลควบคุมมีเพียงความร้อนและงานที่สามารถถ่ายเทข้ามขอบเขตของระบบ
3. มวลสสารภายในระบบไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีมวลสารไหลข้ามขอบเขตของระบบ
4. ขอบเขตของระบบสามารถเคลื่อนที่ได้ (หดหรือขยายตัว)

ปริมาตรควบคุม (หรือระบบเปิด) หมายถึง ปริมาณของสสารหนึ่ง ๆ ที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางอุณหพลวัต โดยขณะนั้นมีมวลสารไหลข้ามผิวควบคุม ซึ่งมีลักษณะอื่น ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปริมาตรควบคุมจะแยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยผิวควบคุม
2. ปริมาตรควบคุมมีความร้อน งาน และมวลสารที่สามารถถ่ายเทข้ามผิวควบคุม
3. มวลสารภายในปริมาตรควบคุมเปลี่ยนแปลง

ระบบโดดเดี่ยว หมายถึง ระบบที่แยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยสิ้นเชิง โดยไม่มีอันตรกิริยากับสิ่งแวดล้อม กล่าวคือไม่มีมวลสาร ความร้อน และงานถ่ายเทข้ามขอบเขตของระบบ

ความดันของของไหลสถิตที่ตำแหน่ง ๆ หนึ่ง ๆ นั้นมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง และกำหนดให้ความดันคือ แรงในแนวตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ นั่นคือ

$$P = \lim_{\delta A \rightarrow \delta A'} \frac{\delta F_n}{\delta A} \quad (2.1)$$

ในที่นี้ δF_n เป็นแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ขนาดเล็ก δA และ $\delta A'$ คือ พื้นที่ขนาดเล็กที่สุดที่ยังสามารถพิจารณาให้ของไหลนั้นอยู่ในสภาวะต่อเนื่องได้

ในหน่วย SI นั้นกำหนดให้ความดันมีหน่วยเป็น Pa (พาสคาล) โดยที่ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ หน่วยความดันอื่นอีก 2 หน่วยที่ไม่ใช่หน่วย SI แต่ยังมีนิยมใช้กันอยู่ คือ บาร์ (bar) และบรรยากาศ (atm) โดยที่

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} \quad (2.2)$$

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1 \text{ bar} \quad (2.3)$$

ความดันในวิชาอุณหพลศาสตร์หมายถึง ความดันสัมบูรณ์ (P_{abs}) ในทางปฏิบัติมาตรวัดความดันจะวัดค่าความดันเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ (P_{atm}) ถ้าความดันของระบบสูงกว่าความดันบรรยากาศ ความแตกต่างของความดันบนมาตรวัดอ่านเป็นความดันเกจ (P_G) และถ้าความดันของระบบต่ำสุดกว่าความดันบรรยากาศ ความแตกต่างของความดันบนมาตรวัดอ่านเป็นความดันสุญญากาศ (P_{vac})

สมภาพของอุณหภูมิตั้งแต่เมื่อวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงสัมผัสกับวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ จนกระทั่งมีอุณหภูมิเดียวกันความร้อนถึงหยุดถ่ายเท วัตถุทั้งสองอยู่ในสมดุลทางความร้อน นั่นคือ วัตถุทั้งสองมีสภาพของอุณหภูมิต่อกัน

2.3.1.2 กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหภูมิตั้งแต่ของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์กล่าวว่า “เมื่อวัตถุทั้งสองมีความสมภาพของอุณหภูมิตั้งแต่กับวัตถุอันที่สาม วัตถุทั้งสองนั้นจะมีสมภาพของอุณหภูมิต่อกัน” กฎข้อที่ศูนย์นี้ไม่ได้พิสูจน์มาจากกฎอื่น ๆ แต่ได้มาจากผลการทดลอง กฎข้อที่ศูนย์สามารถพัฒนาไปสู่กฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

ลักษณะของสารบริสุทธิ์ (1) เป็นสารเนื้อเดียวกันและมีองค์ประกอบทางเคมีที่คงที่ (2) องค์ประกอบทางเคมีจะเหมือนกันในทุก ๆ เฟสที่เกิดขึ้น และ (3) สารประกอบหรือปริมาณธาตุในทุก ๆ เฟสจะอยู่ในส่วนเดียวกันเสมอ

ในทางอุณหพลศาสตร์จะพิจารณาสารบริสุทธิ์เป็นสารอัดตัวได้เชิงเดียว คือ ไม่ได้คำนึงถึงผลทางพื้นผิว ผลทางแม่เหล็ก และผลทางไฟฟ้า แต่กลับคำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของสารนั้น เฟสของสารบริสุทธิ์

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของสารบริสุทธิ์สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายได้อาศัยแผนภาพ อุณหภูมิและปริมาตรจำเพาะ หรือแผนภาพความดัน และปริมาตรจำเพาะของเหลวอิ่มตัว คือ สารใน สภาพของเหลวอิ่มตัวที่ความดันและอุณหภูมิหนึ่ง

ของผสมเปียก คือ สารในสภาพของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ความดันและอุณหภูมิอิ่มตัว

ไออิ่มตัว คือ สารในสภาพไออิ่มตัวที่ความดันและอุณหภูมิอิ่มตัวคู่หนึ่ง

ของเหลวอัดตัว คือ สารในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งความดันและอุณหภูมิขณะนั้นสูงกว่า ความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมินั้น

ไอร้อนยวดยิ่ง คือ สารในสภาพไอที่ความดันหนึ่ง ซึ่งอุณหภูมิของสารขณะนั้นสูงกว่าอุณหภูมิ อิ่มตัวที่ความดันนั้น

จุดวิกฤต คือ จุดซึ่งแสดงสถานะของเหลวอิ่มตัวและสถานะไออิ่มตัวสถานะเดียวกันที่ความดัน วิกฤตของอุณหภูมิของสารบริสุทธิ์ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต สารนั้นจะอยู่ในสถานะของเหลวอัดตัว ถ้าอุณหภูมิของสารบริสุทธิ์สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต สารนั้นจะอยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวด และที่ความดัน เหนือวิกฤตไม่สามารถบอกได้ว่าสารนั้นอยู่ในสถานะใดของเหลวหรือไอ ซึ่งพิจารณาให้สารที่สถานะนั้น เป็นของไหลบอกได้ว่าสารนั้นอยู่ในสถานะของเหลวหรือไอ ซึ่งพิจารณาให้สารมีสถานะนั้นเป็นของไหล

2.3.1.3 กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ สำหรับมวลควบคุมหนึ่ง ๆ พลังงานส่งถ่ายสุทธิเข้าระบบ (งานและความร้อน) ย่อมเท่ากับพลังงานสะสมที่เพิ่มขึ้นภายในระบบนั้น นั่นคือ

$$Q_2 - W_2 = U_2 - U_1 + \frac{1}{2}m(C_1^2 - C_2^2) + mg(Z_2 - Z_1) \quad (2.4)$$

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์สำหรับปริมาตรควบคุมหนึ่ง ๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_{cv} - W_{cv} + \sum E_{in} - \sum E_{out} = \Delta E_{cv} \quad (2.5)$$

เขียนเป็นสมการเชิงอัตราคือ

$$\dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{C_i^2}{2} + gZ_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gZ_e \right) = \frac{d}{dt} E_{cv} \quad (2.6)$$

สมการความต่อเนื่อง

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = \frac{d}{dt} m_{cv} \quad (2.7)$$

สำหรับกระบวนการสภาวะคงตัว-การไหลคงตัว (กระบวนการ SSSF) โดยที่

$$\frac{d}{dt} m_{cv} = 0 \quad \text{และ} \quad \frac{d}{dt} E_{cv} = 0 \quad (2.8), (2.9)$$

ดังนั้นสมการเปลี่ยนเป็น

$$\dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{C_i^2}{2} + gZ_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gZ_e \right) = 0 \quad (2.10)$$

สมการความต่อเนื่องคือ

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (2.11)$$

สำหรับปริมาตรควบคุมที่มีทางเข้าทางเดียว และทางออกทางเดียว พบว่า

$$q - w + h_i - h_e + \frac{C_i^2}{2} - \frac{C_e^2}{2} + gZ_i - gZ_e = 0 \quad (2.12)$$

และ

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} \quad (2.13)$$

โดยที่

$$q = \frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}} \text{ และ } w = \frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}} \quad (2.14), (2.15)$$

และมีหน่วยเป็น kJ/kg

สำหรับกระบวนการสภาวะเอกรูป-การไหลเอกรูป (กระบวนการ USUF) อินทิเกรตตลอดเวลาตั้งแต่ 0 ถึง t พบว่า

$$\begin{aligned} Q_{cv} - W_{cv} + \sum m_i \left(h_i + \frac{C_i^2}{2} + gZ_i \right) - \sum m_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gZ_e \right) \\ = \left[m_2 \left(u_2 + \frac{C_2^2}{2} + gZ_2 \right) - m_1 \left(u_1 + \frac{C_1^2}{2} + gZ_1 \right) \right]_{cv} \end{aligned} \quad (2.16)$$

และอินทิเกรตสมการความต่อเนื่องจะได้

$$\sum m_i - \sum m_e = (m_2 - m_1)_{cv} \quad (2.17)$$

สำหรับปริมาตรควบคุมที่มีทางเข้าทางเดียวและทางออกทางเดียว พบว่า

$$\begin{aligned} Q_{cv} - W_{cv} + m_i \left(h_i + \frac{C_i^2}{2} + gZ_i \right) - m_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gZ_e \right) \\ = \left[m_2 \left(u_2 + \frac{C_2^2}{2} + gZ_2 \right) - m_1 \left(u_1 + \frac{C_1^2}{2} + gZ_1 \right) \right]_{cv} \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$m_i - m_e = (m_2 - m_1)_{cv} \quad (2.19)$$

2.3.2 สารผสมของก๊าซอุดมคติ

2.3.2.1 องค์ประกอบของสารผสมของก๊าซ (เศษส่วนโดยโมลและเศษส่วนโดยมวล)

การศึกษาให้ทราบถึงคุณสมบัติของสารผสม พิจารณาจากองค์ประกอบของสารผสมนั้นคุณสมบัติในแต่ละสารองค์ประกอบ องค์ประกอบของสารผสมถูกกำหนดด้วยเศษส่วนโดยโมลหรือเศษส่วนโดยมวล

สำหรับผสมในรูปก๊าซหนึ่ง ๆ เศษส่วนโดยโมล (y_i) คือ อัตราส่วนของโมลของสารประกอบ (n_i) ต่อจำนวนโมลของสารผสม (n) และเศษส่วนโดยมวล (mf_i) คือ อัตราส่วนของสารองค์ประกอบ (m_i) ต่อมวลของสารผสม (m) เขียนเป็นสมการคือ

$$y_i = \frac{n_i}{n} \text{ และ } mf_i = \frac{m_i}{m_{\text{mix}}} \quad (2.20), (2.21)$$

ถ้าสารผสมมี k สารองค์ประกอบจะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^k y_i = 1.0 \text{ และ } \sum_{i=1}^k mf_i = 1.0 \quad (2.22), (2.23)$$

มวลโมลปรากฏ (apparent molar mass) ของสารผสมหนึ่ง ๆ คือ

$$m_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^k y_i m_i \quad (\text{kg} / \text{kmol}) \quad (2.24)$$

ค่าคงที่ของก๊าซปรากฏ (apparent gas constant) ของสารผสมหนึ่ง ๆ คือ

$$R_{\text{mix}} = \frac{8.3143}{M_{\text{mix}}} \quad (\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}) \quad (2.25)$$

2.3.2.2 กฎของดอลตัน

กฎของการบวกความดันของดอลตัน กล่าวคือ ความดันของสารผสมของก๊าซอุดมคติเท่ากับผลบวกของความดันย่อยในแต่ละก๊าซองค์ประกอบ ที่อุณหภูมิและปริมาตรของสารผสมนั้น นั่นคือ

$$P_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^k P_i(T_{\text{mix}}, V_{\text{mix}}) \quad (2.26)$$

ในที่นี้ P_i คือความดันย่อยของแต่ละก๊าซองค์ประกอบ และสำหรับสารผสมที่ประกอบด้วยก๊าซอุดมคติ 2 ชนิดสามารถเขียนเป็น

$$P_{\text{mix}} = P_A + P_B \text{ หรือ } \frac{P_A}{P_{\text{mix}}} + \frac{P_B}{P_{\text{mix}}} = 1 \quad (2.27), (2.28)$$

2.3.2.3 กฎการบวกปริมาตรของมาเกต

กล่าวคือ ปริมาตรของสารผสมของก๊าซอุดมคติเท่ากับผลบวกของปริมาตรของก๊าซองค์ประกอบที่อุณหภูมิและความดันของสารผสมนั้น นั่นคือ

$$V_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^k V_i(T_{\text{mix}}, P_{\text{mix}}) \quad (2.29)$$

ในที่นี้ V_i คือปริมาตรย่อยของแต่ละก๊าซองค์ประกอบ และสำหรับสารผสมที่ประกอบด้วยก๊าซอุดมคติ 2 ชนิดสามารถเขียนเป็น

$$V_{\text{mix}} = V_A + V_B \quad \text{หรือ} \quad \frac{V_A}{V} + \frac{V_B}{V} = 1 \quad (2.30), (2.31)$$

พบว่าแต่ละก๊าซองค์ประกอบของสารผสมของก๊าซอุดมคติหนึ่ง ๆ เศษส่วนโดยปริมาตร (Volume Fraction) เศษส่วนโดยโมล และอัตราส่วนของความดันย่อยต่อความดันทั้งหมดนั้นเป็นค่าเดียวกัน กล่าวคือ

$$\frac{V_A}{V_{\text{mix}}} = \frac{n_A}{n} = \frac{P_A}{P_{\text{mix}}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{V_A}{V_{\text{mix}}} = y_A = \frac{P_A}{P_{\text{mix}}} \quad (2.32), (2.33)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{V_i}{V_{\text{mix}}} = y_i = \frac{P_i}{P_{\text{mix}}} \quad (2.34)$$

2.3.2.4 พลังงานภายในของสารผสมของก๊าซอุดมคติ

$$U_{\text{mix}} = n\bar{u} = \sum_{i=1}^k n_i \bar{u}_i \quad (\text{kJ}) \quad (2.35)$$

โดยที่ \bar{u}_i พลังงานภายใน พลังงานภายในของก๊าซอุดมคตินั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่านั้น ในที่นี้คืออุณหภูมิของสารผสม สำหรับสารผสมที่ประกอบด้วยสารบริสุทธิ์ A และ B สามารถเขียนเป็น

$$U_{\text{mix}} = n_A \bar{u}_A + n_B \bar{u}_B \quad (2.36)$$

โดยที่ \bar{u}_A คือ พลังงานภายในของสารบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิของสารผสม

2.3.2.5 ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่และความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

$$C_{\text{Vo,mix}} = \sum_{i=1}^k m f_i C_{\text{Vo},i} \quad (\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}) \quad (2.37)$$

$$\bar{C}_{\text{Vo,mix}} = \sum_{i=1}^k y_i \bar{C}_{\text{Vo},i} \quad (\text{kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}) \quad (2.38)$$

$$C_{\text{po,mix}} = \sum_{i=1}^k m f_i C_{\text{po},i} \quad (\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}) \quad (2.39)$$

$$\bar{C}_{po,mix} = \sum_{i=1}^k y_i \bar{C}_{po,i} \quad (\text{kJ/ kmol} \cdot \text{K}) \quad (2.40)$$

โดย $C_{vo,i}$ หรือ $\bar{C}_{vo,i}$ คือ ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่สำหรับก๊าซองค์ประกอบ i และ $C_{po,i}$ หรือ $\bar{C}_{po,i}$ คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่สำหรับก๊าซองค์ประกอบ i

2.3.3 สารผสมของก๊าซและไอ

ที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตนั้นเฟสก๊าซของสารหนึ่ง ๆ เรียกว่า ไอ ซึ่งเป็นสภาวะก๊าซที่อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณไออิมิตัวของสารนั้น และปัญหาเกี่ยวกับการควบแน่นของไออาจเกิดขึ้นได้ขณะดำเนินการกระบวนการหนึ่ง ปัญหาที่พบในสารผสมของก๊าซและไอก็คือ สารผสมของอากาศ น้ำ ไอ โดยเฉพาะกับงานทางด้านการบิน

ข้อสมมติฐานที่ใช้วิเคราะห์

1. เฟสของแข็งหรือของเหลวไม่ละลายก๊าซ
2. เฟสก๊าซกำหนดให้เป็นสารผสมของก๊าซอุดมคติ
3. สารผสมและเฟสควบแน่น (Condensed Phase) ที่ความดันและอุณหภูมิกำหนดหนึ่ง ๆ สมดุลระหว่างเฟสความหนาแน่นกับไอนั้นไม่มีผลต่อสารองค์ประกอบอื่น ๆ นั่นคือขณะเข้าสู่สมดุลความดันย่อยของไอจะเท่ากับความดันไออิมิตัวที่อุณหภูมิของสารผสมนั้น

2.3.3.1 อากาศ

อากาศในบรรยากาศเป็นสารผสมของไนโตรเจน 78.10% ออกซิเจน 20.95% อาร์กอน 0.92% และก๊าซอื่น ๆ อีก (เปอร์เซ็นต์โดยโมล) ปกติในบรรยากาศนี้อากาศจะประกอบด้วยความชื้นหรือไอน้ำจำนวนหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า อากาศชื้น ส่วนอากาศที่ไม่มีไอน้ำเป็นองค์ประกอบเรียกว่า อากาศแห้ง โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงอากาศจะกำหนดให้เป็นสารผสมของไอน้ำกับอากาศแห้ง องค์ประกอบของอากาศแห้งค่อนข้างคงที่ แต่ปริมาตรของไอน้ำเปลี่ยนแปลงซึ่งทั้งนี้เป็นผลมาจากการระเหยหรือควบแน่นของน้ำจากมหาสมุทร ทะเลสาบ แม่น้ำลำคลอง รวมถึงร่างกายของมนุษย์เอง

ช่วงอุณหภูมิใช้งานด้านการปรับอากาศประมาณตั้งแต่ -10 ถึง 50°C ในช่วงอุณหภูมินี้สามารถสมมติให้อากาศแห้งเป็นก๊าซในอุดมคติที่มี C_{po} คงที่เท่ากับ $1.005 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}$

ที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งความดันไออิมิตัวเท่ากับ 12.3 kPa พบว่า ที่ความดันต่ำกว่าจึงนี้สามารถสมมติให้ไอน้ำเป็นก๊าซในอุดมคติได้ สำหรับอากาศชื้นที่สามารถให้เป็นสารผสมของก๊าซอุดมคติพบว่า

$$P = P_a + P_v \quad (2.41)$$

โดยที่ P คือ ความดันของสารผสมของก๊าซอุดมคติ P_a คือ ความดันย่อยของอากาศแห้ง และ P_v คือ ความดันย่อยของไอน้ำหรือความดันไอ (Vapor Pressure)

2.3.3.2 อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อัตราส่วนความชื้น (ω) คือ อัตราส่วนของมวลไอน้ำ (m_v) ต่อมวลของอากาศแห้ง (m_a)

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (2.42)$$

โดนที่ ω มีหน่วยเป็น kg/kg ของอากาศแห้ง ในอากาศแห้งนั้นไม่มีไอน้ำ ดังนั้น $\omega = 0$ ถ้าเพิ่มไอน้ำให้แก่อากาศแห้งนั้นพบว่าอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่อากาศนั้นไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้มากไปกว่านั้น ตรงจุดนี้อากาศอิ่มตัวด้วยความชื้นและเรียกว่า อากาศอิ่มตัว (Saturated Air)

ความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) คือ อัตราส่วนของเศษส่วนโดยมวลของไอน้ำในสารผสมต่อเศษส่วนโดยโมลของไอน้ำในสารผสมอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันทั้งหมดเดียวกัน เนื่องจากในที่นี้พิจารณาให้ไอน้ำเป็นก๊าซในอุดมคติ นิยามของความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของความดันย่อยของไอน้ำที่เกิดขึ้นในสารผสม (P_v) ต่อกับความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (P_g)

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{P_v}{P_g} = \frac{V_g}{V_v} \quad (2.43)$$

สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\phi = \frac{\omega P_a}{0.622 P_g} \quad (2.44)$$

2.3.3.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-Point Temperature)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงภายใต้ความดันคงที่ (P_v คงที่) นั่นคือ

$$T_{dp} = T_{SAT @ P_v} \quad (2.45)$$

2.3.3.4 อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

อุณหภูมิกระเปาะเปียกแห้ง (T_{dp}) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชั้บอบบนเทอร์มอมิเตอร์ชนิดธรรมดา

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชั้บอบบนเทอร์มอมิเตอร์ชนิดที่มีไส้ตะเกียงเปียกหุ้มอยู่ที่กระเปาะ และต้องมีลมผ่านเกินกว่า 3 m/s

2.3.4 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนมีทั้งสิ้น 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) หมายถึงการส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งถ่ายความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) หมายถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ผลการเคลื่อนไหวของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น พลังงานความร้อนถูกโอนถ่ายเป็นผลมาจากการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุลและผลจากการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหล

การพาความร้อนจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวของของไหลเป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น อันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของไหล 2 บริเวณ

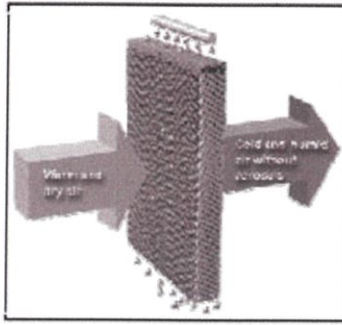
2. การพาความร้อนโดยบังคับ (Forced Convection) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวของของไหลที่เป็นผลมาจากแรงกระทำจากภายนอก เช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม (Blower) ฯลฯ

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) หมายถึงการถ่ายเทความร้อนจากผิวดังกล่าวหนึ่งไปสู่อีกผิวดังกล่าวหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่อาศัยวัสดุตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดในสุญญากาศได้ [1]

2.4 ระบบปรับอากาศแบบระเหย [3]

2.4.1 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหย

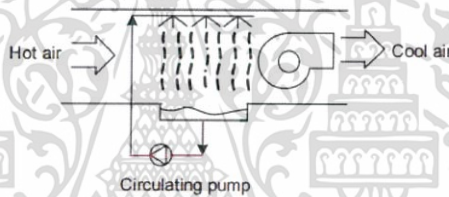
ระบบทำความเย็นแบบระเหย เป็นระบบที่เหมาะสมที่จะใช้ในการใช้ในพื้นที่อากาศแบบร้อนแห้ง ทำงานโดยอาศัยอากาศภายนอกวิ่งผ่านตัวกลาง (Evaporative Media) อาจเป็นม่านน้ำหรือน้ำโดยตรง อากาศจากภายนอกซึ่งเป็นอากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านม่านน้ำ น้ำจะดึงความร้อนออกจากอากาศ น้ำส่วนหนึ่งจะระเหยและน้ำอีกส่วนหนึ่งก็จะตกลงไปยังถาดรองรับน้ำหรือถังเก็บน้ำและน้ำที่ถังเก็บก็จะถูกนำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยปั๊ม (Pump) ผลที่ได้คือ อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านม่านน้ำแล้วจะมีอุณหภูมิลดลงเพื่อนำไปใช้ในการทำความเย็นหรือปรับอากาศต่อไป



รูปที่ 2.10 หลักการทำความเย็นแบบระเหย [3]

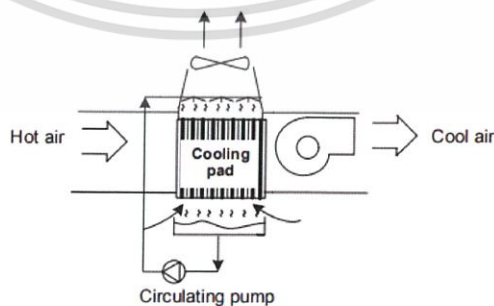
กระบวนการทำความเย็นแบบระเหยสามารถแบ่งการทำงานเป็น 2 แบบ คือ

1. ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบพ่นฝอย เป็นแบบที่พ่นละอองน้ำขนาดเล็กลงมาเพื่อทำให้เกิดระเหยได้ดี มีข้อดีคือ ไม่มีปัญหาในเรื่องการดันการเคลื่อนที่ของอากาศและมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูง แต่จะมีปัญหาเรื่องทำความชื้นสูงตามประสิทธิภาพด้วย



รูปที่ 2.11 ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบพ่นฝอย [3]

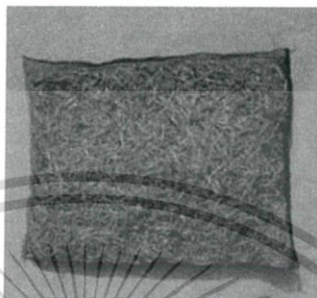
2. ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบแผ่นทำความเย็น เป็นแบบที่ทำให้น้ำไหลผ่านตัวกลางที่ถูกออกแบบให้เป็นช่องรูพรุนมีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ดีและมีความสามารถทำให้เกิดการระเหยของน้ำเมื่ออากาศผ่านเข้าไปตามช่อง ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการวิจัยฉบับนี้



รูปที่ 2.12 ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบแผ่นทำความเย็น [3]

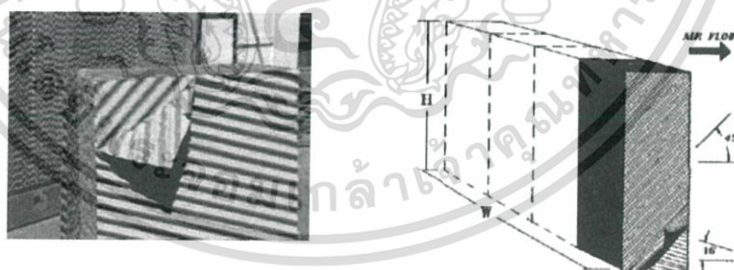
ระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบแผ่นทำความเย็นมีแผ่นทำความเย็นอยู่ 2 แบบ คือ

2.1 Fiber Pad ส่วนใหญ่จะทำมาจากไม้ Aspen นำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ไว้ในถุงตาข่ายและ จะทำการเคลือบสารเพิ่มความเปียก (Wettability Additives) ราคาและประสิทธิภาพของแผ่นทำความ เย็นชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความหนา โดยทั่วไปจะมีความหนา 2.5 ถึง 5 เซนติเมตร โดยแผ่นทำความเย็นชนิด นี้จะเกิดเชื้อราได้ง่ายและยากต่อการบำรุงรักษาจึงไม่เป็นที่นิยมใช้มากนัก



รูปที่ 2.13 Fiber Pad ส่วนใหญ่จะทำมาจากไม้ Aspen [3]

2.2 Rigid Cellulose Pad ทำมาจากกระดาษเหนียวมีคุณสมบัติดูดซึมน้ำผ่านการเคลือบสารเคมี ให้มีความแข็งแรงและทนต่อการเกิดเชื้อรา การนำมาใช้งานจะมีการขึ้นรูปเป็นลอน กำหนดมุมไหลผ่าน ของน้ำและมุมไหลผ่านของอากาศและรวมเป็นแผ่นให้ความหนาเชื่อมต่อกันซึ่งมุมที่กำหนดจะมีผลต่อ ประสิทธิภาพของการทำความเย็น ปกติแผ่นชนิดนี้จะมีขนาดความหนา 20 เซนติเมตรหรือ 30 เซนติเมตร ตัวอย่างเช่นกำหนดให้มุมน้ำมีค่า 45° และมุมลมมีค่า 15° ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 กำหนดให้มุมน้ำมีค่า 45° และมุมลมมีค่า 15° [3]

ข้อแตกต่างของแผ่นทำความเย็น Fiber Pad ที่ทำมาจากไม้ Aspen กับ Rigid Cellulose Pad คือ Rigid Cellulose Pad จะไม่ต้องใช้กรอบในการติดตั้งเนื่องจากแผ่นทำความเย็นชนิดนี้ประกอบเป็น รูปแบบสำเร็จ เมื่อนำมาใช้งานเพียงนำมาเรียงต่อกันโดยอาศัยโครงยึดจับด้านบนเท่านั้น Rigid Cellulose Pad ไม่มีปัญหาเรื่องการหลุดของเส้นใยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า Fiber Pad

ที่ทำมาจากไม้ Aspen เพราะมีการเคลือบด้วยสารเคมีที่มีความสามารถในการคงสภาพได้นานและง่ายต่อการบำรุงรักษาแต่ก็มีข้อเสีย คือ Rigid Cellulose Pad จะมีราคาสูงกว่าด้วย

2.4.2 ระบบปรับอากาศแบบระเหยสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ [4]

การนำเอาหลักการ ระเหยของน้ำ การใช้ประโยชน์จากลม และลักษณะการไหลของลมผ่าน อุโมงค์ มาใช้ร่วมกัน โรงเรือนระบบปรับอากาศแบบระเหยเป็นวิธีการระบายอากาศในโรงเรือนที่มี ลักษณะยาวตรง และปิดมิดชิด โดยที่ปลายด้านหนึ่ง ติดตั้งพัดลมดูดอากาศ และที่ปลายอีกด้านหนึ่งติดตั้ง “แผ่นระเหยน้ำ” (Cooling Pad) เมื่อพัดลมทำงาน อากาศในโรงเรือนจะถูกดูดออกไป ทำให้ภายใน โรงเรือน เกิดความกดดันอากาศเป็นลบ (Negative Pressure) อากาศภายนอกโรงเรือน จะถูกความ กดดันของบรรยากาศนอกโรงเรือน กดดันให้อากาศไหลเข้ามาในโรงเรือน ผ่านทางช่องเปิดซึ่งติดตั้ง “แผ่น ระเหยน้ำ” (Cooling Pad) แล้วไหลผ่านตลอดความยาวภายในโรงเรือนไป อย่างสม่ำเสมอ และ ต่อเนื่องกัน (Potential Flow) และถูกเป่าทิ้งไปทางพัดลมดูดอากาศ การเคลื่อนที่ของลมในลักษณะนี้ เป็นไปตามหลักการ ปฏิกริยาอุโมงค์ลม จึงช่วยให้สัตว์ที่เลี้ยงอยู่ในโรงเรือน ได้รับการระบายอากาศอย่าง สม่ำเสมอ และใกล้เคียงกันตลอดทั้งโรงเรือน และใช้พัดลมที่มีจำนวนน้อยกว่า ซึ่งดีกว่า การใช้พัดลมเป่า ไปที่สัตว์โดยตรง (Positive Pressure) เพราะสัตว์ที่อยู่ใกล้พัดลมจะได้รับการระบายอากาศมากกว่าสัตว์ที่ อยู่ห่างจากพัดลม อย่างไรก็ตาม ต้องคำนวณให้มีปริมาณลมอย่างเพียงพอที่จะพา ความร้อน และ ความชื้น ออกจากโรงเรือนได้อย่างต่อเนื่อง เหมาะสมกับปริมาณ ความร้อน และความชื้น ที่เกิดขึ้นใน โรงเรือน และต้องมีความเร็วลมพอเหมาะ ที่จะช่วยให้สัตว์เกิดความเย็นสบาย

การนำคุณสมบัติของความเร็วมมาใช้ เพื่อช่วยให้สัตว์มีความรู้สึกเย็นสบายขึ้น เรียกว่า ปฏิกริยา ความเย็นที่เกิดจากกระแสลม (Wind-Chilled Effect) อย่างไรก็ตาม ปฏิกริยานี้ มีข้อจำกัด และเงื่อนไข ในการใช้งาน ดังนี้

1. ความเร็วของกระแสลมที่ไหลผ่านตัวสัตว์ ถ้าน้อยกว่า 60 ฟุต/นาที หรือ 0.30 เมตร/วินาที จะไม่เกิดปฏิกริยาฯ หรือเกิดน้อยมาก และถ้ามากกว่า 800 ฟุต/นาที หรือ 4.0 เมตร/วินาที เป็นสภาพที่ เรียกว่า ลมโกรก ซึ่งจะทำให้สัตว์สูญเสียความร้อน และความชื้น ออกจากร่างกายมากเกินไป ซึ่งอาจเป็น อันตรายต่อสัตว์

2. อุณหภูมิของลมที่ไหลผ่านตัวสัตว์ ถ้าสูงเกินกว่า 95°F หรือ 35°C จะไม่เกิดปฏิกริยาที่ดี หรือจะไม่สามารถช่วยให้สัตว์เย็นสบายได้อย่างที่ต้องการ หรือไม่คุ้มค่าในการใช้งาน ดังนั้น ในสภาวะ อากาศร้อน จึงควรลดอุณหภูมิของอากาศ (ลม) ลงก่อน โดยการให้ลมไหลผ่านการระเหยของน้ำ อุณหภูมิ ของลมจะลดต่ำลง และเมื่อบังคับให้ลมมีความเร็วที่เหมาะสม จะทำให้อากาศมีความเย็นสบายขึ้น

2.4.2.1 ประโยชน์ของระบบปรับอากาศแบบระเหยภายในโรงเรือน

ตามปกติในเขตร้อนชื้น อุณหภูมิของอากาศ จะแตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลาของวัน กล่าวคือ ในเวลากลางคืน อุณหภูมิของอากาศจะเย็นสบาย อยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่ในเวลากลางวัน อุณหภูมิของ

อากาศจะสูง ขึ้น จนอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์ได้ โรงเรือนระบบปรับอากาศแบบประเหยต้องมีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของ พัดลม และปั้มน้ำ เพื่อให้มีการ เปิด-ปิด พัดลม ตามระดับอุณหภูมิของ อากาศ และมีการ เปิด-ปิด ปั้มน้ำ ตามระดับอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ การทำงานของพัดลม และ ปั้มน้ำ จะต้องมีความสัมพันธ์ต่อกัน และเป็นไปตามความต้องการของสัตว์เลี้ยง อากาศในโรงเรือนระบบ ปรับอากาศแบบประเหย จะไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ระหว่างกลางวัน และกลางคืน ทำให้สัตว์มี ความเครียดลดลง โดยไม่ต้องผจญกับการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศอย่างรวดเร็ว และลดปัญหาที่เกิด จากสภาพอากาศร้อน

2.4.2.2 ข้อสังเกตการณ์ประโยชน์ของระบบปรับอากาศแบบประเหยภายในโรงเรือน

ในการใช้ประโยชน์โรงเรือนระบบปรับอากาศแบบประเหย เพื่อเลี้ยงสัตว์ในเขตร้อนชื้นให้ได้ผลดี ควรออกแบบให้ ระบบปรับอากาศแบบประเหยระเหยน้ำได้มาก โดยสามารถทำความชื้นให้ถึง 80 – 85 %RH และให้มีความเร็วลมในโรงเรือนไม่น้อยกว่า 2.5 – 2.8 เมตร/วินาที เพื่อใช้ประโยชน์ความเย็นจาก ความเร็วลมและลมยังช่วยพาความชื้นออกไปจากโรงเรือน ซึ่งจะช่วยให้ ค่าดัชนีความเครียดลดลงได้ใน ระดับหนึ่ง สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ต้องจัดการให้กระแสลมมีความสม่ำเสมอทั่วถึงกันทั้งโรงเรือน และไม่มีจุดอับลมจึงจะได้ผลเต็มที่เพื่อให้เกิดการเลี้ยง

2.4.2.3 การคำนวณและออกแบบ ระบบปรับอากาศแบบประเหยสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ในเขตร้อนชื้น

ขั้นตอนในการคำนวณ และออกแบบ ระบบปรับอากาศแบบประเหยสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ดังนี้

1. คำนวณหาปริมาณลมเฉลี่ยสูงสุด ที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์ การคำนวณหาปริมาณลมที่ ต้องการ มีวิธีคำนวณจากฐานข้อมูลที่ต่างกัน 2 วิธี และผลที่ได้ก็แตกต่างกันด้วย แล้วแต่กรณี ดังนั้น จึง ควรคำนวณจากทั้ง 2 วิธี แล้วให้พิจารณาใช้ค่าปริมาณลมมากที่สุด เป็นหลักในการใช้งานจริง (ดูในตาราง ที่ 1) คำนวณจาก ค่าอัตราการระบายอากาศ (Air Flow Rate) โดยคิดจากน้ำหนักของสัตว์ และจำนวน สัตว์ ที่เลี้ยงในโรงเรือน ดังนี้

$$\text{ปริมาณลมเฉลี่ยสูงสุด} = \text{จำนวนสัตว์} \times \text{น้ำหนักเฉลี่ย} \times \text{Air Flow Rate} \quad (2.46)$$

หน่วย : CMH หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คำนวณจาก ค่าอัตราการถ่ายเทอากาศ (Air Change Rate) เพื่อหาปริมาณลมที่ใช้ในการระบายอากาศต่อปริมาตรของโรงเรือน ซึ่งเป็นไปตามหลักวิศวกรรมการ ระบายอากาศ ในการระบายถ่ายเทเอา ความร้อน ความชื้น ฝุ่นละออง และอากาศเสีย ออกไปจาก โรงเรือน และนำเอาอากาศดีจากภายนอกโรงเรือนเข้ามาแทนที่

$$\text{ปริมาณลมเฉลี่ยสูงสุด} = \text{ปริมาตรภายในของโรงเรือน} \times \text{Air Change Rate} \quad (2.47)$$

หน่วย : CMH หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2. ให้ตรวจสอบค่า ความเร็วลม (Velocity) สูงสุดเฉลี่ยที่ไหลผ่านในโรงเรือน จะต้องเพียงพอ หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 1 โดยใช้วิธีแก้ไขจำนวนพัดลม พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน หรือ วิธีการบังคับลมวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายวิธีร่วมกัน แล้วแต่กรณี โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

ความเร็วลม = (ปริมาณลมจากพัดลมที่ใช้จริง ÷ 3,600) ÷ พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน (ตร.ม.) (2.48)

หน่วย : m/s หรือ เมตรต่อวินาที

3. ให้คำนวณหาจำนวนพัดลมที่ต้องการใช้ ตามประสิทธิภาพของพัดลม โดยให้ใช้ค่าปริมาณลมที่แรงดันสถิต (Static Pressure) ใช้งานจริง (ดูตัวอย่างข้อมูล ในตารางที่ 2)

4. คำนวณหาจำนวน Cooling Pad ที่ต้องใช้ โดยให้ความเร็วลมไหลผ่าน Pads ในอัตรา 1 – 1 m/s (ดูตัวอย่างข้อมูล ในตารางที่ 3) โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

พื้นที่หน้า Pads = (ปริมาณลมจากพัดลมที่ใช้จริง ÷ ความเร็วลมผ่าน pads) ÷ 3,600 (2.49)

5. ให้มีค่าความกดดันอากาศเป็นลบ (Negative Pressure) ในโรงเรือน อยู่ระหว่าง 12.5 – 37.5 Pa หรือ 0.05 – 0.15 นิ้วของน้ำ

6. ควรติดตั้งพัดลมและแผ่นสารดูดความชื้นให้กระแสลม เดินเป็นเส้นตรงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และควรคำนึงถึงหลักการเคลื่อนที่ของลม (Aero Dynamic) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกระแสลมปั่นป่วน (Turbulent Flow) และจุดอับลม (Dead Wind) ทั้งนี้ ต้องพิจารณาลักษณะภายในโรงเรือน และการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมด้วย

7. คำนวณขนาดปั้มน้ำให้เหมาะสม ตามขนาด และจำนวน Pads เช่น Pad ขนาด 1.8 × 0.3 × 0.15 เมตร ให้ใช้ปั้มน้ำที่มีอัตราการไหล 3 ลิตร / นาที ต่อ Pad 1 แผ่นและถังพักน้ำ ควรมีปริมาตร 30% ของปริมาตรแผ่นที่ใช้งาน ถ้าแยกการติดตั้งแผ่นเป็นหลายชุดให้คำนวณการใช้อุปกรณ์แยกกันแต่ละชุด แต่ในการใช้งานให้ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำแต่ละตัวให้เปิด-ปิดพร้อมกัน

8. มีการถ่ายน้ำทิ้ง (Bleed – Off) อย่างถูกต้อง เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของ Pads ให้เปิดน้ำที่ไหลกลับลงถังพักน้ำ ทิ้งไปบางส่วน น้ำใหม่จะมีโอกาสเติมเข้าถังพักน้ำได้มากขึ้น เพื่อลดความเข้มข้นของน้ำในถังพัก และรักษาค่า pH ของน้ำที่ไหลผ่าน Pad ให้อยู่ระหว่าง 6 – 8

9. ควรติดตั้งแสลม หรือมุ้งไนลอน ห่างจากหน้า Pads ประมาณ 1.00 เมตร เพื่อป้องกัน แมลง ใบไม้ ดอกหญ้า และฝุ่นผง ไม่ให้เข้าไปอุดตันช่องอากาศของ Cooling Pad

10. ติดตั้งพัดลมให้ถูกทิศทาง อย่าให้สวนทางกับกระแสลมตามธรรมชาติ อาจติดตั้งแสลมห่างจากหน้าพัดลม ประมาณ 4.00 เมตร เพื่อป้องกันฝุ่นละอองจากในโรงเรือนไม่ให้ฟุ้งกระจายออกไป และป้องกันกระแสลมตามธรรมชาติไม่ให้พัดไปอัดที่หน้าพัดลมโดยตรง เพื่อให้พัดลมยังคงมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ในขณะที่มีลมพัดแรง

11. การติดผ้าม่าน หรือการบังคับลมที่ไหลผ่าน Cooling Pad จะต้องพิจารณาถึงความจำเป็นตามสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในท้องถิ่น วัตถุประสงค์ และความคุ้มค่าในการใช้งานด้วย โดยทั่วไป การบังคับลมที่ผ่าน Pads จะใช้ในเขตที่มีอากาศหนาว เพื่อเพิ่มความเร็วลมในการพาความชื้นและอากาศเสียออกไป แต่ไม่ต้องการให้กระแสลมผ่านตัวสัตว์ เพราะจะทำให้สัตว์เกิดความหนาวเย็นมากเกินไป และมักจะใช้กับการดูดอากาศ แบบตามขวางโรงเรือน (Cross Flow) มากกว่า แบบตามยาวโรงเรือน (Longitudinal Flow)

ตารางที่ 2.3 ค่าแนะนำที่ใช้ประกอบการคำนวณ ระบบ Evap. สำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ [4]

ชนิด หรือประเภทสัตว์	Air Flow Rate (CMH/ kg)	Air Change Rate (AirChange/ hr)	Stocking Density (kg/ sq·m)	Velocity m / s
ไก่เนื้อ ขนาด ≤ 2.00 กก.	6.8 - 7.5	90 ±10%	≤ 30	2.0 - 3.0
ไก่เนื้อ 2.00- 2.50 กก.	7.0 - 8.5	90 ±10%	24 - 28	2.5 - 3.5
ไก่เนื้อ ขนาด > 2.50 กก.	8.0 - 10.0	90 ±10%	22 - 26	2.7 - 3.5
เปิดไข่ และเปิดเนื้อ	7.5 - 8.5	90 ±10%	20 - 26	2.5 - 3.5
ไก่ไข่ (กรงตับ)	7.0 - 8.5	90 ±10%	≥ 430 ตร.ซม./ ตัว	3.0 - 4.5
ไก่พ่อแม่พันธุ์ (ไก่ไข่)	7.5 - 9.5	90 ±10%	22 - 26	2.5 - 3.0
ไก่พ่อแม่พันธุ์ (ไก่เนื้อ)	8.0 - 10.0	100 ±10%	20 - 24	2.7 - 3.5
สุกรขุน	7.0 - 10.0	100 ±10%	50 - 100	2.5 - 3.5
สุกรพันธุ์ และวันนม	8.0 - 10.5	100 ±10%	30 - 75	2.5 - 3.5

- หมายเหตุ**
1. ตารางนี้เป็นเพียงคำแนะนำเท่านั้น ความสำเร็จของระบบฯ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ
 2. การใช้ค่า อัตราความหนาแน่นในการเลี้ยงสัตว์ ควรพิจารณาถึงสายพันธุ์สัตว์ที่เลี้ยงด้วย เพราะสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง (High Yield) มักทนต่อสภาพแวดล้อมได้ไม่ดี ถ้าอัตราความหนาแน่นในการเลี้ยงสูงอาจทำให้ประสิทธิภาพของสัตว์ลดลง

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของพัดลมดูดอากาศ UT FAN 50 [4]

ค่าแรงดันสถิต ของพัดลม		ปริมาณลม	
Pascals	นิ้ว ของน้ำ	ลูกบาศก์เมตร / ชั่วโมง	ลูกบาศก์ฟุต / นาที
0.0	0.000	39,500	23,500
12.5	0.050	37,722	22,203
24.9	0.100	35,749	21,042
31.1	0.125	34,669	20,406
37.4	0.150	33,527	19,734

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างข้อมูลแสดงประสิทธิภาพของ Cooling Pad CeLPad™ [4]

ความเร็วลม ที่ไหลผ่าน CeLPad™	ประสิทธิภาพจากการระเหยน้ำ (%)			ความกดดันอากาศ (Pa , Pascal)		
	ความหนาของ CeLPad™			ความหนาของ CeLPad™		
	150 ม.ม.	100 ม.ม.	75 ม.ม.	150 ม.ม.	100 ม.ม.	75 ม.ม.
0.5 เมตร วินาที	93	83	73	10	5	2
1.0 เมตร / วินาที	90	78	69	15	10	5
1.5 เมตร / วินาที	87	74	64	30	20	10
2.0 เมตร / วินาที	84	71	61	50	35	20

2.4.3 ความแตกต่างระหว่างระบบปรับอากาศแบบระเหยภายในโรงเรือนทางการเกษตรกับระบบปรับอากาศภายในครัวเรือน [5]

เครื่องควบคุมที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาสามารถใช้งานควบคุมการเลี้ยงไก่ได้เหมือนเครื่องควบคุมที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทั่ว ๆ ไปที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบันแต่มีราคาถูกกว่าหลายเท่าตัวซึ่งเกษตรกรรายย่อย ๆ ขนาดกลาง และขนาดใหญ่สามารถใช้ได้ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรและช่วยลดระยะเวลาและแรงงานในการผลิตสัตว์ นอกจากนี้ยังเป็นการประหยัดเงินไม่ทำให้สูญเสียออกนอกประเทศได้อีกทางหนึ่งและยังเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบการผลิตด้วยเครื่องควบคุมการผลิตทำให้ได้ผลผลิตดีขึ้น เมื่อเทียบกับระบบการผลิตแบบเดิม

2.5 หลักการทำงานของเซนเซอร์

2.5.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) [6]

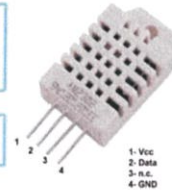
อุปกรณ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านระบบสมองกลฝังตัวได้หลากหลาย เช่น การวัดและควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ระบบบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นในห้องเป็นต้น อุปกรณ์ประเภทนี้จะมีความแตกต่างกันตามผู้ผลิต ราคา ความแม่นยำ ความละเอียดในการวัด การให้ค่าแบบดิจิทัลหรือแบบแอนะล็อก เป็นต้น

การใช้งานโมดูล DHT22 ให้ค่าเป็นแบบดิจิทัล ใช้ขาสัญญาณดิจิทัลเพียงเส้นเดียว ในการเชื่อมต่อแบบบิตอนุกรมสองทิศทาง (Serial Data, Bi-Directional) โดยนำมาเชื่อมต่อกับ Arduino เพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์

DHT22 Temperature-Humidity Sensor

- 3.3 to 6V power and I/O
- 1.5mA max current use during conversion
- 0-100% humidity readings with 2-5% accuracy
- -40 to 80°C temperature readings 0.5°C accuracy
- Up to 0.5 Hz sampling rate (once every 2 seconds)
- 4 pins, 0.1" spacing

- 1) VCC
- 2) DATA (digital I/O)
- 3) Not Connected (N.C.)
- 4) GND



Note: Connect a 4.7k or 10k resistor between VCC and the DATA pin.

Embedded System Lab (ESL) @ KMITNB, Thailand

2013-08-17

รูปที่ 2.15 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) [6]

2.5.1.1 ข้อมูลเชิงเทคนิค

1. ใช้แรงดันไฟเลี้ยงได้ในช่วง: 3.3 V ถึง 5.5 V DC (ดังนั้นจึงใช้ได้กับ 3.3 V และ 5 V)
2. วัดอุณหภูมิได้ในช่วง: -40 to 80°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ accuracy)
3. วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง: 0 - 100%RH (2 - 5% accuracy)
4. อัตราการวัดสูงสุด: 0.5 Hz
5. คอนเนกเตอร์แบบ 4 ขา (0.1"/2.54 mm spacing)

Pin 1 = VCC

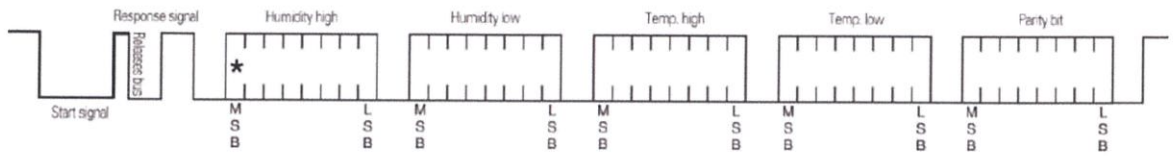
Pin 2 = SDA (Serial data, bidirectional)

Pin 3 = N.C. (Not Connect)

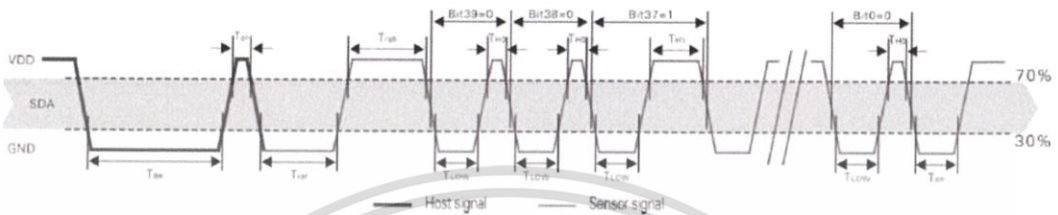
Pin 4 = GND

2.5.1.2 หลักการทำงาน

ในการอ่านข้อมูลจากไอซีนั้นจะใช้ขาสัญญาณเพียงเส้นเดียวคือ DATA (หรือ SDA) แบบสองทิศทางและในสถานะปรกติสัญญาณ DATA จะเป็น HIGH ในการอ่านข้อมูลแต่ละครั้งไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องกำหนดให้ ขา DATA เป็นเอาต์พุตและสร้างบิต START ซึ่งจะต้องเป็น LOW อย่างน้อย 800 μsec จากนั้นจึงให้เป็น HIGH อย่างน้อย 20 μsec หลังจากนั้นเป็นการรอการตอบกลับ (Response) และจากไอซีขา DATA จะถูกต้อง เปลี่ยนเป็นอินพุต เริ่มต้นของการตอบกลับไอซีจะดึงสัญญาณลงเป็น LOW และปล่อยให้เป็น HIGH ช่วงละ 80 μsec โดยประมาณ (เรียกว่า Response Bit) จากนั้นจึงจะเป็นการส่งข้อมูลที่ละบิต รวม 40 บิต (ช่วง LOW ตามด้วยช่วง HIGH) ช่วง LOW ของแต่ละบิต จะกว้างเท่ากัน แต่จะต่างกันในช่วง HIGH สำหรับบิตที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 (ใช้ความ กว้างช่วง HIGH ในการจำแนกค่าของบิต)



รูปที่ 2.16 ลำดับของข้อมูลบิตในการอ่านค่าจากไอซีทั้งหมด 5 ไบต์ (40 บิต) สองไบต์แรกสำหรับความชื้น สองไบต์ต่อมาสำหรับอุณหภูมิ และไบต์สุดท้ายเป็น checksum หรือ parity bits [6]



รูปที่ 2.17 ลำดับของข้อมูลบิตในการอ่านค่าจากไอซีและความกว้างของช่วง LOW และ HIGH [6]

2.5.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ (DS18B20) [7][8]

ในปัจจุบัน มีไอซีสำหรับวัดอุณหภูมิให้เลือกใช้อยู่หลายแบบ แบ่งตามรูปแบบของเอาต์พุตได้เป็นสองประเภท คือ ไอซีที่ให้เอาต์พุตแบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัล โดยทั่วไปไอซีแบบดิจิทัล จะมีวงจรประเภท ADC (Analog to Digital Converter) รวมอยู่ภายใน บางตระกูลหรือบางรุ่น สามารถโปรแกรมหรืออ่านค่ารีจิสเตอร์ภายในได้ เช่น เพื่อกำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไอซี ในส่วนการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ มักจะเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบ SPI หรือ I2C เพื่อประหยัดขา I/O ในการเชื่อมต่อ การใช้งานไอซี DS18B20 Digital Thermometer ของบริษัท Maxim และเขียนโปรแกรมติดต่อสื่อสารด้วย Arduino จุดเด่นของไอซีในตระกูลนี้คือ การสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณเพียงเส้นเดียว นำอุปกรณ์หรือไอซีมาต่อกันหลายตัวเป็นบัส (Bus) ได้ โดยใช้โปรโตคอลสื่อสารที่เรียกว่า 1-Wire (OneWire) [7]



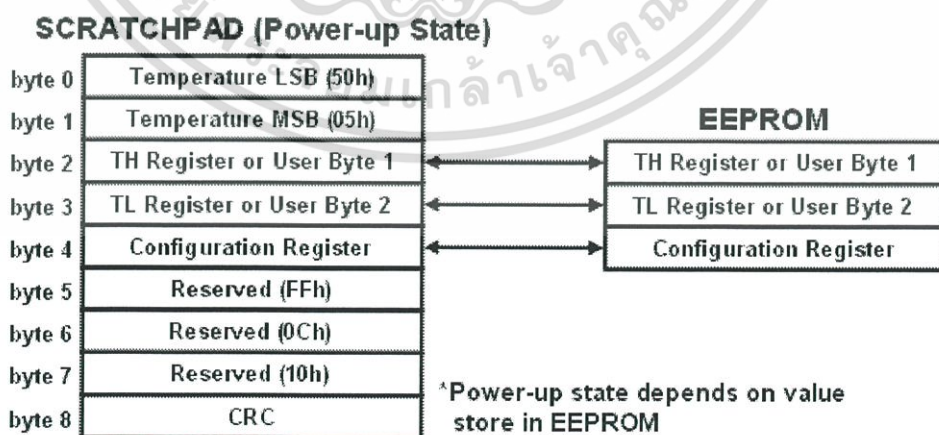
รูปที่ 2.18 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ (DS18B20) [7]

2.5.2.1 ข้อมูลเชิงเทคนิค [7]

1. ใช้แรงดันไฟเลี้ยง Vdd (หรือ Vcc) ได้ในช่วง 3.0 V ถึง 5.5 V
2. ย่านการวัดตั้งแต่ -55°C ถึง $+125^{\circ}\text{C}$ หรือ -67°F ถึง $+257^{\circ}\text{F}$
3. มีความแม่นยำ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ สำหรับอุณหภูมิในช่วง -10°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$
4. มีความละเอียดของค่าที่อ่านได้ 12 บิต (Resolution)
5. ใช้เวลาการแปลง 200 ms สำหรับข้อมูล 9 บิต และ 750 ms สำหรับข้อมูล 12 บิต
6. มี 3 ขา (ตัวถังแบบ TO-92)
 - Pin 1 = Gnd
 - Pin 2 = DQ
 - Pin 3 = Vdd
7. ใช้งานได้สองแบบ: normal mode (ใช้ทั้ง 3 ขา) และ parasite power mode (ใช้เพียง 2 ขา คือ DQ และ GND ในขณะที่ขา Vdd จะต่อกับขา Gnd)
8. สามารถนำไอซีมาพ่วงต่อกันในบัสเดียว (เส้นสัญญาณ DQ) ได้หลายอุปกรณ์
9. ในการใช้งานจะต้องต่อ pull-up $4.7\text{ k}\Omega$ ที่ขา DQ กับแรงดันไฟเลี้ยง
10. ไอซีแต่ละตัวมีหมายเลขเฉพาะตัว ขนาด 64 บิต (64-bit serial code)
11. สำหรับตระกูล DS18B20 มีค่ารหัสตระกูลเป็น 28h (0x28) เป็นไบต์แรกของหมายเลขอุปกรณ์

2.5.2.2 หลักการทำงาน [8]

โครงสร้างรีจิสเตอร์ภายในของ DS18B20 มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าประกอบไปด้วย SRAM Scratchpad ขนาด 9 ไบต์ และ EEPROM ขนาด 3 ไบต์ ซึ่งใช้เก็บค่าอุณหภูมิสูงสุด (TH) ต่ำสุด (TL) สำหรับเปรียบเทียบการเกิดสัญญาณเตือน และรีจิสเตอร์ควบคุม (Configuration Register)



รูปที่ 2.19 โครงสร้างรีจิสเตอร์ภายในของ DS18B20 [8]

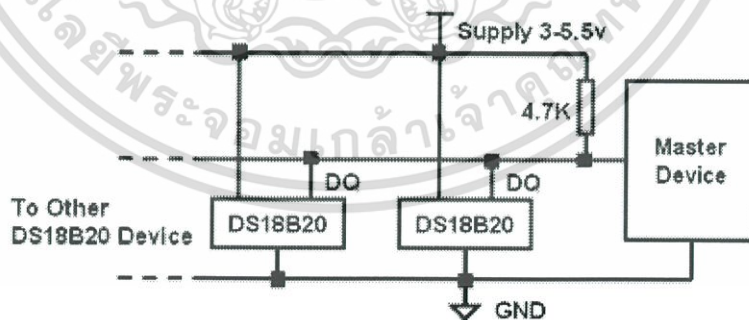
ข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้จะถูกเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ Temperature ซึ่งมีขนาด 16 บิต ดังแสดงในรูปแบบที่ 3 ถ้าข้อมูลอุณหภูมิเป็นบวก S จะเป็น “1” แต่ถ้าข้อมูลอุณหภูมิเป็นลบ S จะเป็น “0” ในกรณีที่ DS18B20 ทำงานในโหมดความละเอียด 12 บิต บิตทุกบิตในรีจิสเตอร์ Temperature จะถูกใช้หมด แต่ในกรณีที่ทำงานในโหมด 9-11 บิต บิตล่าง (บิต 0 – บิต 2) จะไม่ถูกใช้งาน ซึ่งในการกำหนดโหมดความละเอียดการทำงานของ DS18B20 นั้นสามารถกำหนดได้ที่รีจิสเตอร์ Configuration ซึ่งโดยปกติเริ่มต้น DS18B20 จะทำงานในโหมด 12 บิต

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
LS Byte	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit15	bit14	bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8
MS Byte	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

รูปที่ 2.20 โครงสร้างภายในรีจิสเตอร์ Temperature LSB และ MSB [8]

การสื่อสารแบบ 1-wire เป็นระบบบัสข้อมูลแบบ Half-duplex นั่นคือสามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทาง แต่ไม่สามารถรับ และส่งข้อมูลพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกันได้ ระบบบัสมีการทำงานเป็นแบบ Master/Slave โดยอุปกรณ์ Master จะเป็นตัวควบคุมสถานะ และแจ้งหว่ากรับส่งของบัสข้อมูล ในขณะที่อุปกรณ์ Slave จะทำงานตามการควบคุมของอุปกรณ์ Master เท่านั้น

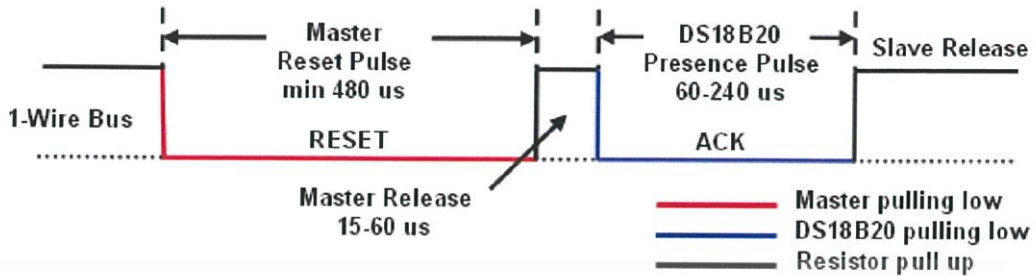
ในการใช้งานบัสแบบ 1 wire นี้ สายสัญญาณข้อมูล DQ จะต้องมีสถานะปกติที่ลอจิกสูง สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานประมาณ 5 กิโลโอห์มพูลอัพไว้กับไฟเลี้ยง หรือในกรณีที่ใช้บัสแบบ 1 wire ต่อร่วมกับอุปกรณ์ DS18B20 หลายตัว ก็สามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การต่อใช้งาน DS18B20 [8]

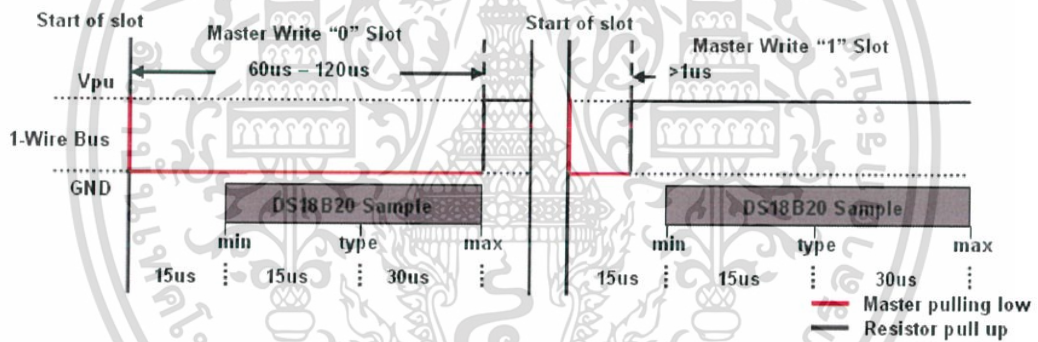
รูปแบบของสัญญาณบนบัส 1-wire สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 รูปแบบ คือ Reset pulse, Presence pulse, write 0, write 1, read 0, read 1 ในกระบวนการเริ่มต้นการสื่อสารแบบ 1-wire ทั้งหมดนั้น อุปกรณ์ Master ต้องขอเริ่มการสื่อสารด้วยการสร้าง Reset pulse ก่อน เมื่ออุปกรณ์ Slave

ได้รับ Reset pulse ก็สร้าง Presence pulse เพื่อตอบรับการขอเริ่มการสื่อสารนั้น ซึ่งมีรายละเอียดของช่วงเวลาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเริ่มการติดต่อสื่อสารแบบ 1-wire ด้วย Reset Pulse และ Presence Pulse [8]

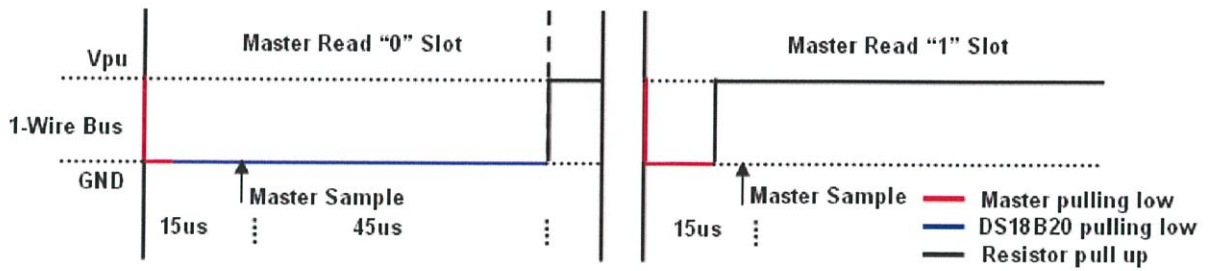
ในการเขียนข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การเขียนข้อมูล “1” และการเขียนข้อมูล “0” ดังแสดงในรูปที่ 6 การเขียนข้อมูลลง DS18B20 ต้องใช้ช่วงเวลาของไทม์สล็อตอย่างต่ำ 60 μsec และต้องมีช่วงเวลาระหว่างไทม์สล็อตอย่างต่ำ 1 μsec



รูปที่ 2.23 การเขียนข้อมูลลง DS18B20 [8]

การเขียนข้อมูลทั้ง 2 ชนิด เริ่มแรกอุปกรณ์ Master ต้องดึงสัญญาณบนบัส 1-wire ลงมาให้อยู่ในสถานะลอจิกต่ำก่อน ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล “0” ลงใน DS18B20 อุปกรณ์ Master ต้องดึงสัญญาณบนบัสให้เป็นลอจิกต่ำต่อ จนกว่าจะครบช่วงเวลาไทม์สล็อต (อย่างต่ำ 60 μsec) ส่วนในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล “1” ลง DS18B20 อุปกรณ์ Master ต้องปล่อยบัส เพื่อให้บัสกลับไปอยู่ในสถานะลอจิกสูงก่อนการ Sampling ของ DS18B20 ซึ่งจะอยู่ในช่วง 15 μsec ถึง 60 μsec หลังจากที่อุปกรณ์ Master ดึงสัญญาณบัส 1-wire ลงมา

ในการอ่านค่าภายใน SRAM ของ DS18B20 สามารถทำได้ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ Master ได้เขียนข้อมูลเพื่อขอทำการอ่านค่าใน SRAM (Read Scratchpad) ซึ่งมีค่าเป็น 0xBE ลงไปที่ DS18B20 เสียก่อน จากนั้นจึงเริ่มอ่านข้อมูลจากบัส 1-wire โดยไทม์สล็อตของการอ่านต้องมีช่วงเวลาอย่างต่ำ 60 μsec และต้องมีช่วงเวลาระหว่างไทม์สล็อตอย่างต่ำ 1 μsec ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การอ่านข้อมูลจาก DS18B20 [8]

การอ่านข้อมูลจากบัส 1-wire เริ่มแรกอุปกรณ์ Master จะต้องดึงบัส 1-wire ลงให้อยู่ในสถานะลอจิกต่ำเป็นช่วงเวลาอย่างน้อย $1 \mu\text{sec}$ จากนั้นจึงค่อยปล่อยบัส ในกรณีที่ DS18B20 ส่งข้อมูล “0” DS18B20 จะดึงบัสให้เป็นลอจิกต่ำจนกว่าจะสิ้นสุดไทม์สล็อตถึงจึงจะปล่อยบัสให้กลับไปอยู่ในสถานะลอจิกสูง ส่วนในกรณีที่ DS18B20 ส่งข้อมูล “1” DS18B20 จะปล่อยบัสให้อยู่ในสถานะลอจิกสูงตลอดในการ Sample เพื่อรับข้อมูลจาก DS18B20 ควรทำภายใน $15 \mu\text{sec}$ หลังจากจุดเริ่มของไทม์สล็อต ดังแสดงในรูปที่ 2.28

2.5.3 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180) [9]

Sensor BMP180 สำหรับวัดความกดดันอากาศความแม่นยำสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการวัดระดับความสูง อิทธิพลต่อความกดอากาศ เช่น ยิ่งสูงขึ้นไป อากาศจะยิ่งบาง อุณหภูมิยิ่งต่ำ ความกดอากาศก็จะยิ่งน้อยลงไปด้วยทำให้อากาศบนยอดเขาจะน้อยกว่าความกดอากาศของที่เชิงเขาโดยความกดอากาศปกติที่พื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเลปานกลางจะมีค่าเท่ากับ 1013.20 มิลลิบาร์

Sensor BMP180 (GY-68) สามารถวัดค่าความกดดันอากาศ ใน Range ที่ 300-1100hPa การเชื่อมต่อไปยัง Arduino ผ่าน I2C Interface จึงเป็นเรื่องง่ายกับการนำไปใช้งานร่วมกับ Arduino



รูปที่ 2.25 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180) [9]

2.5.3.1 ข้อมูลเชิงเทคนิค

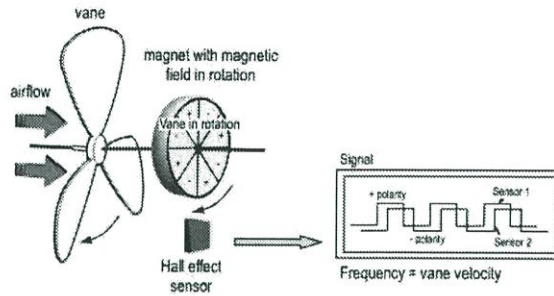
1. รองรับแรงดัน 1.8 V - 3.6 V
2. ค่าความกดอากาศที่สามารถวัดได้ : 300 – 1100 hPa หรือ +9000 m ถึง -500 m
3. การเชื่อมต่อ กับ Arduino ผ่าน I2C Interface
4. แพคเกจ LCC8: แพคเกจเซรามิก leadless (LCC) ขนาด: 3.6 × 3.8 × 0.93 มม
5. การใช้พลังงานต่ำ: 5 μ A ในโหมดมาตรฐาน
6. ความแม่นยำสูง: โหมดพลังงานต่ำความละเอียด 0.06 hPa (0.5 เมตร) ในโหมดเชิงเส้นสูงความละเอียด คือ 0.03 hPa (0.25 m)
7. คอนเนกเตอร์แบบ 4 ขา
Pin 1 = VIN
Pin 2 = GND SDA (Serial data, bidirectional)
Pin 3 = SCL
Pin 4 = SDA (Serial data, bidirectional)

2.5.3.2 หลักการทำงาน

บารอมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นบารอมิเตอร์ที่มีเซ็นเซอร์วัดแรงดันที่มีขนาดมิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยซิลิคอนเวเฟอร์เพื่อตรวจจับความกดดัน ซิลิกอนชิปและแผ่นฉนวนที่ทำจากแก้ว โดยซิลิคอนเวเฟอร์ที่ใช้ในการตรวจจับความดันจะทำให้อยู่ในรูปของอิเล็กทรอนิกส์ ไดอะแฟรม และมีช่องว่างที่เป็นสุญญากาศระหว่างซิลิคอนกับแผ่นกระจก ชิซิลิคอนสำหรับพื้นผิวถูกทำให้เป็นขั้ว โดยขั้วไฟฟ้าระหว่างซิลิคอนเวเฟอร์กับซิลิกอนชิปจะคั่นด้วยช่องว่างที่เป็นสุญญากาศในรูปแบบตัวเก็บประจุของไดอะแฟรม โดยการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศซึ่งส่งผลให้ช่องว่างสุญญากาศเกิดการขยายหรือหดตัว การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถไฟฟ้าสถิตของช่องว่างและขั้วไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยนี้ถูกตรวจจับและแปลงเป็นความกดอากาศ เครื่องวัดความจุแบบดิจิทัลความจุไฟฟ้าสถิตนี้มีความแม่นยำสูงและเสถียรภาพเป็นเวลานาน

2.5.4 เซนเซอร์วัดความเร็วของลม [10 และ 11]

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer) เริ่มจากเมื่อลมพัดผ่านใบพัดของเครื่องวัดทำให้แผ่นแม่เหล็กวางกลมภายในหมุนตามเวลาไปด้วย ทำให้เกิดสัญญาณ Pulse สนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งมีเซนเซอร์ 2 ตัวตรวจจับอยู่โดย Output ของเซนเซอร์คู่นี้จะเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็กเป็นค่าทางความถี่ไฟฟ้า และคำนวณโดยอุปกรณ์คอนโทรลเป็นค่าความเร็วลม แสดงผลบนดิสเพลย์ มีหน่วยเป็น m/s (meter per second), ft/min (feet per minute), km/h (kilometers per hour), MPH (miles per hour), Knots (nautical miles per hour) [10]



รูปที่ 2.26 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วลม [10]

2.5.4.1 ประเภทของเครื่องวัดความเร็วลม [11]

1. แบบหมุน (Cup Anemometer) เป็นเครื่องมือวัดความเร็วลมที่มีอายุมากที่สุด โดยใช้ถ้วยวางบนแกนแนวตั้งเมื่อมีลมมาปะทะจะทำให้ถ้วยหมุนรอบแกน ความเร็วของถ้วยที่หมุน คือ ความเร็วลม

2. แบบกังหันลม (Windmill Anemometer) สามารถวัดได้ทั้งความเร็วลมและทิศทางลม โดยเครื่องมือวัดประเภทนี้จะมีใบพัดวางอยู่ด้านหน้าเมื่อมีลมพัดมาปะทะจะทำให้ใบพัดหมุนความเร็วของใบพัดที่หมุนจะเป็นตัวบ่งบอกความเร็วลม

1. แบบหัวลมร้อน (Hot Wire Anemometer)

2. แบบ Sonic Anemometer ใช้หลักการรับและส่งคลื่นอัลตราโซนิกสระหว่างเซ็นเซอร์เมื่อมีลมพัดผ่านเซ็นเซอร์ คลื่นอัลตราโซนิกจะถูกขัดจังหวะซึ่งการขัดจังหวะนี้จะให้ข้อมูลความเร็วลมที่ต้องการและแม่นยำ เครื่องมือประเภทนี้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวทำให้มีความทนทานสูงและสามารถวัดความเร็วลมที่ต่ำมาก ๆ ได้

3. แบบ Laser Doppler Anemometer

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัครรัตน์ พูลกระจ่าง และนพพร เปรมใจ, พ.ศ. 2553, [5] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าหาประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม โดยมีแผ่นซับน้ำชนิดกระดาษสำหรับทำความเย็นโดยตรง และคอยล์ สำหรับทำความเย็นโดยอ้อม และแบ่งการทดลองออกเป็น 3 สภาวะ 1. ระบบทำความเย็นแบบโดยตรงอย่างเดียว 2. ระบบทำความเย็นแบบโดยอ้อมอย่างเดียว 3. ระบบทำความเย็นแบบโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม ผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิอากาศออกโดยเฉลี่ยของระบบทำความเย็นแบบโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม เท่ากับ 25.88 °C มีความชื้นสัมพัทธ์ 77.13% ระบบทำความเย็นแบบโดยตรงอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.37 °C มีความชื้นสัมพัทธ์ 59.42% และระบบทำความเย็นแบบโดยตรงอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.13 °C มีความชื้นสัมพัทธ์ 57.01% โดยทั้ง 3 สภาวะอากาศเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ที่เวลา 50 นาที

สุรินทร์ คันใจ และสุลักษณา มงคล, พ.ศ. 2560, [12] ได้ทำการศึกษาศักยภาพการลดความชื้นในระบบทำความเย็นแบบระเหยเพื่อใช้ในบ้านพักอาศัยด้วยฮีทปั๊ม โดยการแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 ทดสอบกรณีติดตั้งฮีทปั๊มหน้าแผ่นระเหยน้ำ กรณีที่ 2 ติดตั้งฮีทปั๊มหลังแผ่นระเหยน้ำ และกรณีที่ 3 ติดตั้งฮีทปั๊มหน้าและหลังแผ่นระเหยน้ำ โดยผลจากการศึกษาพบว่าในกรณีที่ 1 สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ $14 - 38^{\circ}\text{C}$ กรณีที่ 2 สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ $3.1-5.9^{\circ}\text{C}$ และกรณีที่ 3 สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ $11 - 3.1^{\circ}\text{C}$ แต่ในทุกกรณีไม่สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ และกรณีที่อุณหภูมิลดลงและมีความชื้นเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือ กรณีที่ 1 ที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น $0-9.7\%$

ประพนธ์ ชูประเสริฐ และเจริญพร เลิศสถิตธนกร, พ.ศ. 2546, [13] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับอากาศโรงเรือนเลี้ยงหนอนไหมด้วยการทำความเย็นแบบระเหย โดยการแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ฤดู และโรงเรือนจะปรับอากาศเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 28°C ตามฤดูกาล ผลจากการศึกษาพบว่าในฤดูหนาวจะมีการปรับอากาศเป็นจำนวน 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งวันซึ่งจะทำให้อุณหภูมิอากาศขาออกอยู่ในช่วง $23 - 26^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาออกจากผิวเปียกอยู่ในช่วง $83.4-92.8\%$ ฤดูร้อนจะมีการปรับอากาศเป็นจำนวน 12 ชั่วโมง ต่อหนึ่งวันซึ่งจะทำให้อุณหภูมิอากาศขาออกอยู่ในช่วง $24.4 - 29^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาออกจากผิวเปียกอยู่ในช่วง $83.1-96.1\%$ และฤดูฝน จะมีการปรับอากาศเป็นจำนวน 11 ชั่วโมงต่อหนึ่งวันซึ่งจะทำให้อุณหภูมิอากาศขาออกอยู่ในช่วง $28.1 - 33.9^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาออกจากผิวเปียกอยู่ในช่วง $89.5 - 96.5\%$ ดังนั้นจากการศึกษาจึงพบว่าสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้ระบบปรับอากาศแบบระเหยคือ สภาวะร้อนและแห้ง

วิสิทธิ์ เอกวานิช จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ และ ปัญญารักษ์ งามศรีตระกูล, พ.ศ. 2550, [14] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของสารดูดความชื้นในการลดความชื้นของอากาศที่จะผ่านเข้ามาภายในอาคารโดยใช้โปรแกรม Energy Plus โดยอ้างอิงข้อมูลสภาวะอากาศจังหวัดสงขลาซึ่งในการจำลองด้วยโปรแกรมจะมีการใช้ระบบทำความเย็นจากซิลเลอร์และทำการวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นของห้องทดลองขนาด 20 m^2 โดยใช้อัตราการระบายอากาศ 0.007 kg/s จากการศึกษาพบว่าการใช้สารดูดความชื้นในห้องที่มีการ ปรับอากาศจะสามารถลดความชื้นได้ประมาณ $0.008 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{dry-air}}$ ที่อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศที่ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 48.6% โดยสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นประมาณ $30 - 40\%$

ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล, (พ.ศ.2552), [15] บทความนี้ได้เสนอผลการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ เพื่อนำมาใช้ลดความชื้นของอากาศภายนอกที่จะเข้ามาภายในอาคารปรับอากาศ ได้ออกแบบให้อุปกรณ์ดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบเป็นระบบผนังกระจก 2 ชั้น ภายในบรรจุแผ่นซิลิกาที่สกัดจากแกลบ ติดตั้งขวางทางเดินอากาศในลักษณะสลับฟันปลา ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบมีช่องระบายอากาศทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยติดตั้งพัดลมระบายอากาศไว้ที่ช่องระบายอากาศด้านบน ส่วนการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นในสภาวะจำลอง 3 สภาวะตามสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลของประเทศไทย ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน ส่วน 2 ทดสอบในสภาพอากาศจริง ซึ่งจากการนำผล

การทดลองมาวิเคราะห์หาความสามารถในการใช้พลังงานของผนังดูดซับความชื้น เมื่อจำลองสถานการณ์ติดตั้งผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบภายในห้องนอนขนาดเล็กพบว่า ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดในช่วงฤดูฝน และน้อยที่สุดในช่วงฤดูร้อน ซึ่งจะทำงานได้ดีเฉพาะ 1-2 ชั่วโมงแรกเท่านั้น โดนผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบจะดูดซับความชื้นในอากาศได้ในช่วงเวลากลางคืน และคายความชื้นในเวลากลางวัน หมุนเวียนเป็นวัฏจักร โดยไม่จำเป็นต้องนำแผ่นซิลิกาออกมารีดความชื้น

อดิพงษ์ นันทพันธุ์ ทัศนาเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี, พ.ศ. 2552, [16] งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างชุดสารดูดความชื้น สำหรับใช้ในกระบวนการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ของเตาอบลำไย โดยชุดสารดูดความชื้นมีลักษณะเป็นชั้นบรรจุซิลิกาเจลชั้นละ 3 กิโลกรัม ขนาด $49.5 \times 49.5 \times 2.5$ เซนติเมตร จำนวน 10 ชั้นวางซ้อนกันในแนวดิ่ง โดยมีระยะห่างระหว่างชั้น 2.5 เซนติเมตร ทดสอบสมรรถนะของชุดสารดูดความชื้นทั้งในกรณี ของกระบวนการดูดความชื้น และกระบวนการอบไล่ความชื้น โดยนำชุดสารดูดความชื้นไปทดสอบสมรรถนะในอุโมงค์ลม และได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิของอากาศด้านเข้าชุดสารดูดความชื้น และเวลาที่ใช้ทดสอบ โดยพบว่าอัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้น ในกรณีที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการดูดความชื้นดังกล่าวจะลดลงในกรณีที่อุณหภูมิด้านเข้าชุดสารดูดความชื้น ของอากาศเพิ่มขึ้น ในกรณีของการอบไล่ความชื้นออกจากชุดสารดูดความชื้นพบว่าปริมาณความชื้นที่ถูกขับออกมาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตรา การไหลเชิงมวลของอากาศและอุณหภูมิด้านเข้าของอากาศเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันปริมาณความชื้นที่ถูกขับออกมาจะลดลงเมื่อความชื้น สัมพัทธ์ของอากาศ

นินนาท ราชประดิษฐ์ จุฑาวัชร สุวรรณภาพ และ นฤพล สร้อยวัน, พ.ศ.2556, [17] งานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ด้วยการทำชุดเติมอากาศเพื่อให้ห้องมีปริมาณการระบายอากาศที่สะอาดและเพียงพอต่อความต้องการมาตรฐาน และจากนั้นจะใช้ชุดเติมอากาศนี้ทำการศึกษาผลจากอากาศภายนอกที่ใช้ในการระบายอากาศ การหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ และรูปแบบของการระบายอากาศที่กระทบต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงาน จากการทดลองพบว่าอากาศภายนอกที่ใช้ในกระบวนการระบายอากาศ มีผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานโดยความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำในช่วงกลางวันและมีค่าสูงกว่าในช่วงเช้าและเย็น ตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ส่วนการหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศในช่วงภาระการทำงานน้อยจะส่งผลให้ความชื้นของห้องเพิ่มขึ้น ในส่วนของการใช้ชุดเติมอากาศเพื่อศึกษาผลจากรูปแบบการระบายอากาศพบว่าการนำอากาศผ่านเข้าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศก่อนเข้าห้องจะทำให้ห้องมีความชื้นน้อยกว่าการส่งอากาศเข้าห้องโดยตรง

ชาตรี เกียรติจรุณศิริ สุดาภรณ์ ฉิ่งลู่ พรณจิรา ทิศวิภาต และ บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย, (2553), [18] งานวิจัยนี้ศึกษาการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยการทดลองใช้สารดูดความชื้นสามชนิดได้แก่ ทรายแอก (Dry Act) และ อีโคทราย (Eco Dry) ซึ่งเป็นสารดูดความชื้นจากธรรมชาติและ ซิลิกาเจล (Silica Gel) ซึ่งเป็นสารดูดความชื้นสังเคราะห์ การทำการทดลองแบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ 1. การทดสอบการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นในแผ่นเบตที่มี รูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางของแผ่นเบตในกล่องทดสอบ 4 ขนาด ได้แก่ 35 × 40 × 40 ลบ.ซม. 35 × 40 × 40 ลบ.ซม. 50 × 40 × 40 ลบ.ซม. และ 40 × 60 × 40 ลบ.ซม. โดยใช้ความเร็วของอากาศผ่านแผ่นเบตมีค่าเริ่มต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ 0.5 เมตร/วินาที 2. การทดสอบการคายความชื้นของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในกล่องอบแห้งและ 3) การนำผลจากการทดลองที่ 1 และ 2 มาทดสอบในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศระหว่างมีการใช้และไม่มีการใช้สารดูดความชื้นเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าผลการทดลองที่ 1 พบว่าแผ่นเบตอีโคทรายขนาดแผ่น 20 × 30 ตร.ซม. ที่มี ลักษณะการจัดวางของแผ่นเบตแบบตั้งฉากกับทิศทางลมของอากาศ มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูงสุด โดยสามารถดูดซับความชื้นได้ 7.09 – 10.34% ของน้ำหนักสารเริ่มต้น โดยมีผลต่างของมวลสาร 28.59 – 41.66 กรัม ในช่วงเวลา 10 นาทีแรกของการทดลอง พบว่าอุณหภูมิในอากาศสูงขึ้นเฉลี่ย 1 -1.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยลดลงสูงสุด 9 – 12% และความเร็วของอากาศเฉลี่ยลดลง 50% ผลการทดลองที่ 2 พบว่า แผ่นเบตซิลิกาเจลขนาดแผ่น 20 × 30 ตร.ซม. มีประสิทธิภาพในการคายความชื้นได้สูงสุด โดยสามารถคายความชื้น 5.71 – 7.45 % ของน้ำหนักสารเริ่มต้น โดยมีอัตราการคายความชื้นสูงสุดในเวลา 12.00 - 15.00 น. ผลการทดลองที่ 3 พบว่ากรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นทั้งซิลิกาเจลและอีโคทรายร่วมกับระบบปรับอากาศมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 10.605 กิโลวัตต์ชั่วโมงและ 11.183 กิโลวัตต์ชั่วโมง สวนกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศมีค่าอยู่ที่ 11.770 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงว่ากรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้ คิดเป็น 5 – 10% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

ยอด สุขะมงคล, พ.ศ. 2554, [20] การศึกษาวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคาดเดาสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (PV/T) โดยใช้อากาศร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องปรับอากาศสมการคณิตศาสตร์ของแต่ละส่วนประกอบจะถูกพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องในการทำนายค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ เหล่านั้นกับค่าที่วัดได้จากการทำการทดลองกับระบบที่ทำการติดตั้งจริงในสภาวะแวดล้อมสภาวะภูมิอากาศและสภาวะการทำงานเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบ PV/T สามารถผลิตอากาศร้อนที่ 53 °C ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 23% และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 8.16 MJ ทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงถึง 65% นอกจากนี้การนำอากาศร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบ PV/T มาใช้ร่วมกับความร้อน

ทั้งจากระบบปรับอากาศในการทำให้สารดูดความชื้นคายน้ำเพื่อนำกลับไปใช้ในการดูดความชื้นในห้องปรับอากาศได้ใหม่นั้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้ ประมาณ 18%

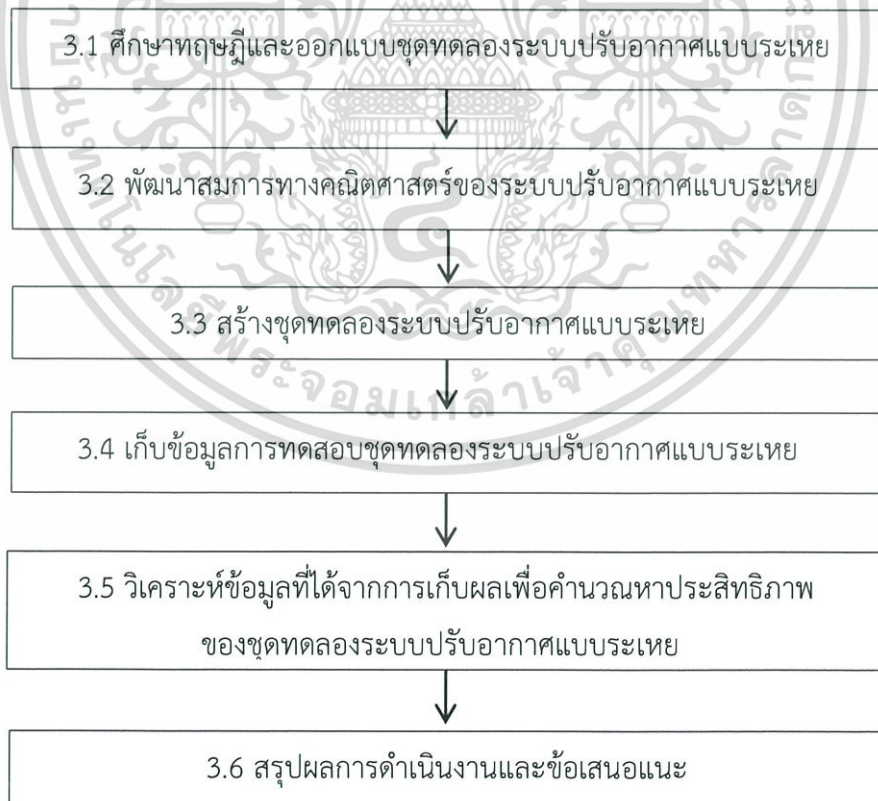
Joseph Khedari Nuparb Yamtraipat Naris Pratintong and Jongjit Hirunlabh, ค.ศ.2000, [21] งานวิจัยนี้ศึกษาการความเร็วลมที่มีผลต่อความสบายของคนไทย โดยทำการศึกษาภายใต้บรรยากาศประเทศไทยซึ่งมีอาสาสมัครคนไทยเข้าร่วมการทดสอบจำนวน 288 คนเป็นผู้ชาย 183 คน และผู้หญิง 105 คน ทำการกำหนดระดับความเร็วลมที่ 6 ระดับ ได้แก่ 0.2 0.5 1 1.5 2 และ 3 m/s โดยระดับความเร็วลมจะเริ่มจาก 0.2 จนถึง 3 m / s ใช้เวลา 40 นาทีต่อหนึ่งการทดสอบ ซึ่งใน 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องทดสอบอยู่ระหว่าง 26°C ถึง 36°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 – 80% จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของแผนภูมิสภาวะสบาย คือ 36.83°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 – 80% ในส่วนของความเร็วลมภายในอาคารควรมีความเร็วลมไม่เกิน 1 m/min ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่ 50% ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศลงได้



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการดำเนินการออกแบบและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย โดยมีวัตถุประสงค์ออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยรวมทั้งพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายหลักการทำงานของชุดควบคุม โดยทำการศึกษาหลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหยแล้วนำมาพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งสร้างตารางเก็บข้อมูลผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นระบบปรับอากาศแบบระเหย จากนั้นวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยและปัจจัยต้องการศึกษาที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย ซึ่งแผนผังขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.1 ออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

การออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย เลือกใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2016 ในการออกแบบโดยออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยซึ่งจะรวมอยู่กับห้องทดลอง โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพ ความทนทาน ค่าใช้จ่ายและขนาดของชุดควบคุมที่เหมาะสม

ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร มีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรงและสามารถถอดแผ่นสารดูดความชื้นออกเปลี่ยนได้ โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1. แผ่นสารดูดความชื้น

แผ่นสารดูดความชื้นเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ทำมาจากแผ่นพลาสติกตัดเป็นช่องขนาด 3 ซม. x 3 ซม. จำนวน 12 ช่อง แต่ละช่องจะบรรจุสารดูดความชื้นเอาไว้แล้วปิดทับด้วยแผ่นตาข่ายไนลอน ทำการติดตั้งอุปกรณ์ไว้บริเวณหน้าสุดของห้องลดอุณหภูมิและความชื้นโดยแผ่นสารดูดความชื้นมีหน้าที่ดึงความชื้นจากอากาศก่อนเปลี่ยนอากาศเป็นแบบแห้งแต่ร้อน

2. พัดลม

พัดลมทำหน้าที่ดึงอากาศเข้าสู่ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พัดลมจะต้องมีคุณสมบัติในการดึงอากาศในปริมาณมากเนื่องจากอากาศจะต้องผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีความหนา ค่อนข้างสูง

3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศไปสู่น้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อให้สามารถอุณหภูมิของอากาศลดลงแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

4. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

5. เซนเซอร์วัดความดันอากาศ

เซนเซอร์วัดความดันอากาศทำหน้าที่วัดความดันของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

6. เซนเซอร์วัดความเร็วลม

เซนเซอร์วัดความเร็วลมทำหน้าที่วัดความเร็วลมตอนเข้าสู่ชุดควบคุมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

ห้องทดลองเพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้นมีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 115 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ห้องทดลองถูกออกแบบให้ผนังด้านข้างทำจากแผ่นอะคริลิก 2 ชั้น เพื่อให้อากาศระหว่างแผ่นอะคริลิกชั้นในและชั้นนอกเป็นฉนวนกันความร้อน โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 2 ห้องทดลองที่ใช้ในการวัดการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศหลังจากอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในบริเวณห้องทดลองและบริเวณท้ายห้องทดลองก่อนอากาศจะออกจากระบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

2. เซนเซอร์วัดความดันอากาศ

เซนเซอร์วัดความดันอากาศทำหน้าที่ความดันของอากาศหลังจากอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในบริเวณห้องทดลองและบริเวณท้ายห้องทดลองก่อนอากาศจะออกจากระบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

3. เซนเซอร์วัดความเร็วลม

เซนเซอร์วัดความเร็วลมทำหน้าที่ความเร็วลม โดยจะทำการวัดทั้งหมด 9 จุดบริเวณหน้าห้องลดอุณหภูมิและความชื้น จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดมาเฉลี่ยแล้วใช้เป็นตัววัดความเร็วลมเฉลี่ยตลอดการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

เมื่อเสร็จสิ้นในขั้นตอนนี้แล้วจะนำผลการออกแบบห้องทดลองและชุดทดลองมาแบ่งออกเป็น ส่วนตามตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ติดตั้งภายในห้องทดลองจากนั้นจึงสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการในลำดับถัดไป

3.2 การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์

ในการวิจัยนี้เป็นการนำสมการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้หลักการเรื่องกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ของระบบเปิดซึ่งเกี่ยวกับสภาพของอากาศที่เป็นส่วนผสมของอากาศแห้งและไอน้ำในอากาศ โดยเราแบ่งการคำนวณออกเป็น 4 ส่วน

ส่วนที่ 1 ห้องลดอุณหภูมิและความชื้น ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นโดยรวมของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย โดยการลดความชื้นก่อนเข้าสู่ห้องควบคุมด้วยแผ่นสารดูดความชื้นและลดอุณหภูมิด้วยการเปลี่ยนความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ส่วนที่ 2 ห้องควบคุมหลังจากอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ได้หลังจากที่อากาศผ่านพัดลมจะเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ส่วนที่ 3 ส่วนกลางของห้องควบคุม ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งในส่วนนี้อาจเทียบอุณหภูมิและความชื้นได้กับอากาศภายในห้องที่สามารถสัมผัสได้โดยตรง

ส่วนที่ 4 ส่วนท้ายของห้องห้องควบคุม ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งในส่วนนี้อาจเทียบอุณหภูมิและความชื้นได้กับอากาศบริเวณใกล้กับอากาศที่อยู่บริเวณประตูห้อง

โดยทางคณะผู้จัดทำจึงได้พัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์นี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยให้มีความเป็นจริงมากที่สุด

เมื่อพัฒนาสมการเทอร์โมไดนามิกส์เสร็จสิ้นแล้วจึงทำการลงมือสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยเพื่อใช้ในเก็บผลการทดลองในลำดับถัดไป

3.3 สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

จากการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยในหัวข้อที่ 3.1 ได้มีการกำหนดขนาดของชุดทดลองแต่ละส่วนพร้อมทั้งอุปกรณ์ภายในแต่ละส่วนแล้วโดยการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย จะแบ่งห้องในชุดควบคุมออกเป็น 2 ห้อง คือ 1. ห้องลดอุณหภูมิและความชื้น และ 2. ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยขั้นตอนในการสร้างจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนจะมีลำดับการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.3.1 การสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

ขั้นตอนในการสร้างห้องลดอุณหภูมิและความชื้นที่เชื่อมติดกับห้องควบคุม จะดำเนินการโดยการทำให้ทั้ง 2 ห้องใช้น้ำแข็งเดียวกันและแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีลำดับการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. การประกอบโครงสร้าง ซึ่งทำมาจากกรอบอะลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร × 20 มิลลิเมตรทำการประกอบตลอดแนวความยาวของทั้ง 2 ห้องโดยมุมแต่ละมุมยึดด้วยฉาก จากนั้นนำแท่งอะลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร × 20 มิลลิเมตร × 34 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชิ้นโดยนำ 2 ชิ้นแรกมาติดภายในกรอบอะลูมิเนียมฝั่งละ 1 ชิ้นโดยห่างจากขอบสี่เหลี่ยมทางเข้าห้องลดอุณหภูมิและความชื้นประมาณ 15 เซนติเมตรจากนั้นทำการการยึดติดด้วยเหล็กฉาก และอีก 2 ชิ้นนำมาวางในลักษณะเดียวกับ 2 ชิ้นแรกโดยคู่ที่ 2 จะห่างจากคู่แรกประมาณ 5 เซนติเมตร

2. ติดตั้งพัดลมเข้ากับแท่งอะลูมิเนียม โดยพัดลมจะยึดติดอยู่กับแผ่นกระดาษ ABS หนา 3 มิลลิเมตร ที่ทำการฉลุเพื่อให้สามารถยึดติดกับพัดลมได้ เมื่อยึดติดพัดลมเข้ากับกระดาษแล้วทำการสอดแผ่นกระดาษแผ่นช่องของแท่งอะลูมิเนียม

3. ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ากับกรอบอะลูมิเนียม โดยการยึดด้วยแผ่นเหล็กตัดฉากตามรูปทรงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนที่เจาะปลายทั้งสองข้างไว้ จากนั้นยึดน็อตระหว่างแผ่นเหล็กตัดฉากและกรอบอะลูมิเนียมซึ่งในการศึกษานี้จะใช้แผงหม้อน้ำของรถยนต์ขนาดเล็กในการเปลี่ยนความร้อน โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะอยู่ห่างจากพัดลมประมาณ 5 เซนติเมตร

4. ติดตั้งระบบน้ำเข้าและออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 2 ท่อเพื่อใช้ในการเป็นท่อเข้าและท่อออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับภาชนะรองรับน้ำขนาด 10 ลิตร และติดตั้งปั้มน้ำไฟฟ้ากระแสตรงเข้าท่อเพื่อให้เกิดแรงดันน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน

5. ตรวจสอบการทำงานและปรับตั้งค่าของเซนเซอร์ทุกตัวที่ใช้ในการศึกษาให้เป็นมาตรฐานพร้อมทั้งติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด โดยการปรับตั้งเซนเซอร์ทุกตัว ณ ตำแหน่งเดียวกันโดยสังเกตให้ค่าของเซนเซอร์ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

6. ติดตั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาโดยจะทำการเจาะช่องขนาดเล็กเพื่อให้สายไฟสามารถออกมาจนกระทั่งระบบเพื่อเชื่อมต่อกับบ้านได้ โดยในการศึกษานี้มีการเดินสายแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. เชื่อมต่อสายไฟจากแผงควบคุม Arduino เข้าสู่เซนเซอร์ 2. เดินสายไฟของพัดลมจากในห้องลดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อต่อกับไฟกระแสสลับ 3. เดินสายไฟจากปั้มน้ำในภาชนะรองรับเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับ

7. ประกอบแผ่นอะคริลิกเข้ากับกรอบอะลูมิเนียมทั้ง 4 ด้าน ซึ่งแผ่นอะลูมิเนียมทำหน้าที่ในการแบ่งห้องออกเป็น 2 ส่วน คือ ห้องลดอุณหภูมิและความชื้นจะใช้แผ่นอะคริลิกผนังละ 1 แผ่นทั้ง 4 ด้าน แต่ในส่วนห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะใส่แผ่นอะคริลิกผนังด้านข้าง ๆ ละ 2 แผ่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน ส่วนผนังด้านบนและด้านล่างจะใช้ผนังละ 1 แผ่นเหมือนกับห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เมื่อทำการประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเรียบร้อยแล้ว ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับโปรแกรม PLX-DAQ เพื่อแปลงข้อมูลที่ได้จากแผงควบคุมให้อยู่ในรูปแบบตาราง

3.3.2 การทดลองการควบคุมอุณหภูมิด้วยอุณหภูมิของน้ำที่แลกเปลี่ยนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดลองจะมีการควบคุมอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิห้องโดยจะมีอุณหภูมิตั้งที่ประมาณ 28-32 องศาเซลเซียส การทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือการทดลองควบคุมอุณหภูมิด้วยอุณหภูมิของน้ำที่แลกเปลี่ยนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแผ่นสารดูดความชื้น การเตรียมการทดลองมีดังนี้

1. อุปกรณ์

1.1 ชุดควบคุมและชุดทดลองอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

1.2 น้ำอุณหภูมิห้องจำนวน 6 ลิตร

1.3 น้ำแข็งที่มีปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ระบบของชุดควบคุมคือเปิดพัดลม เปิดปั้มน้ำ และเช็คการทำงานของเซนเซอร์ทุกตัว

2.2 บรรจุน้ำอุณหภูมิห้องลงภาชนะรองรับเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน

2.3 เติมน้ำแข็งที่มีปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 0, 1, 2, 3 และ 4 หน่วย ตามลำดับ

การทดลอง โดยจะให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28, 26, 25.5, 25 และ 24.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำระดับละ 3 ครั้ง

2.4 บันทึกค่าของอุณหภูมิ ความชื้นและความดันของอากาศจากเซนเซอร์ทุกตัว

3.3.3 การทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแผ่นสารดูดความชื้น

การเตรียมการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์

1.1 ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

1.2 น้ำอุณหภูมิห้องจำนวน 6 ลิตร

1.3 น้ำแข็งที่มีปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.4 แผ่นสารดูดความชื้นจำนวน 1 แผ่น

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ระบบของชุดควบคุมคือเปิดพัดลม เปิดปั๊มน้ำ และเช็คการทำงานของเซนเซอร์ทุกตัว

2.2 ใส่แผ่นสารดูดความชื้นในบริเวณที่กำหนด

2.3 บรรจุน้ำอุณหภูมิห้องลงภาชนะรองรับเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน

2.4 เติมน้ำแข็งที่มีปริมาตร 600 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 0, 1, 2, 3 และ 4 หน่วย ตามลำดับการทดลอง โดยจะทำให้มีน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28, 26, 25.5, 25 และ 24.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำระดับละ 3 ครั้ง

2.5 บันทึกค่าของอุณหภูมิ ความชื้นและความดันของอากาศจากเซนเซอร์ทุกตัว เมื่อทำการทดลองแล้วค่าของข้อมูลจะถูกบันทึกอยู่ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยวิธีการบันทึกค่าจะแสดงอยู่ในหัวข้อลำดับถัดไป

3.4 รวบรวมข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นระบบปรับอากาศแบบระเหย

ทำการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย จะใช้การวัดโดยใช้การตรวจจับของเซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้นและความดันอากาศของแต่ละช่วงของชุดทดสอบโดยการหาค่าอุณหภูมิและความชื้น ใช้ระบบเซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้นและความดันอากาศซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในแต่ละช่วงของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยและห้องทดลองการใช้งานและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาที่เปลี่ยนไปต่ออุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิของน้ำและความดันอากาศในแต่ละช่วงที่กำหนดไว้โดยการประมวลผลของโปรแกรม Arduino จากนั้นส่งผ่านข้อมูลมายังโปรแกรม Microsoft Excel ด้วยโปรแกรม PLX-DAQ ค่าที่ได้จากการทดลองจะถูกบันทึกทุก 4 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อ 1 การทดลองซ้ำ ทำการบันทึกผลการทดลองทุกระดับ ๆ ละ 3 ซ้ำ ซึ่งแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เวลาที่ทำการบันทึกเก็บข้อมูลระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

2. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของระบบควบคุมในช่วงก่อนเข้าสู่ชุดควบคุม ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น %RH

3. อุณหภูมิของระบบควบคุมในช่วงก่อนเข้าสู่ชุดควบคุม ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น °C
 4. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของระบบควบคุมในช่วงก่อนออกจากชุดควบคุม ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น %RH
 5. อุณหภูมิของระบบควบคุมในช่วงก่อนออกจากชุดควบคุม ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น °C
 6. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของระบบควบคุมในช่วงภายในชุดทดลอง ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น %RH
 7. อุณหภูมิของระบบควบคุมในช่วงภายในชุดทดลอง ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น °C
 8. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของระบบควบคุมในช่วงก่อนออกจากชุดทดลอง ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น %RH
 9. อุณหภูมิของระบบควบคุมในช่วงก่อนออกจากชุดทดลอง ซึ่งได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT 22) มีหน่วยเป็น °C
 10. อุณหภูมิของระบบน้ำก่อนเข้าสู่อุปกรณ์แรกเปลี่ยนความร้อนซึ่งได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำ (DS18B20) มีหน่วยเป็น °C
 11. ความดันอากาศของระบบก่อนเข้าสู่ชุดควบคุม ซึ่งได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180) มีหน่วยเป็น Pa
 12. ความดันอากาศของระบบก่อนออกจากชุดควบคุม ซึ่งได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180) มีหน่วยเป็น Pa
 13. ความดันอากาศของระบบภายในชุดทดลอง ซึ่งได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180) มีหน่วยเป็น Pa
 14. ความดันอากาศของระบบก่อนออกจากชุดทดลอง ซึ่งได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (BMP180) มีหน่วยเป็น Pa
- ค่าที่บันทึกในตารางนี้เป็นของอุณหภูมิและความชื้นในแต่ละส่วนของการทดลองที่ต้องการศึกษา เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยและนำข้อมูลต่าง ๆ ไปต่อยอดต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

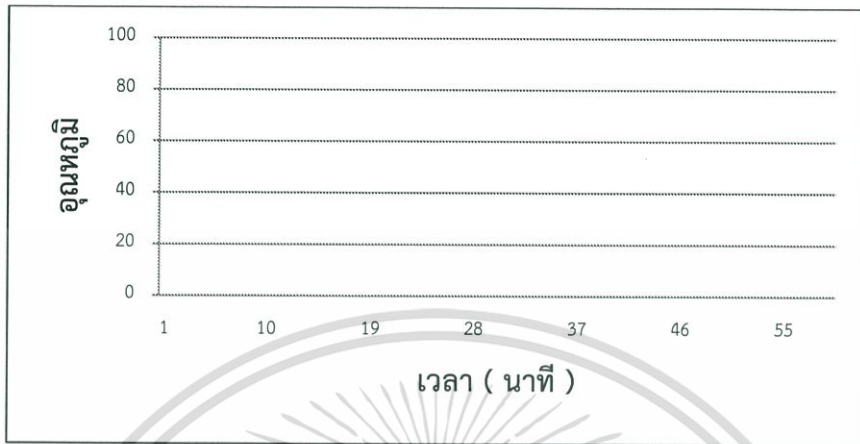
การวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย ทำให้ทราบว่าแต่ละช่วงของระบบที่กำหนดไว้ มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเป็นเท่าใด ซึ่งจะดำเนินการโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความดันอากาศแต่ละช่วงของระบบ รวมถึงอุณหภูมิของน้ำที่จะเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย และปัจจัยที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นซึ่งปัจจัยในการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1. อุณหภูมิของน้ำที่แลกเปลี่ยนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและ 2. แผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย แสดงดังตารางที่ 3.2 – 3.4 โดยแบบฟอร์มมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. เวลาที่ทำการบันทึกเก็บข้อมูลระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย
2. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของระบบ
3. อุณหภูมิของระบบ
4. ความเร็วลมเฉลี่ย
5. ความดันเกจ
6. ความดันไอน้ำในสถานะก๊าซ
7. ความดันของอากาศแห้ง
8. ความชื้นจำเพาะของชุดทดลอง
9. ปริมาตรของอากาศแห้ง
10. มวลของอากาศแห้ง
11. มวลของน้ำในสถานะก๊าซ
12. มวลของอากาศ

จากตารางที่ 3.2 เป็นการวิเคราะห์ค่าจากข้อมูลดิบจากการทดลองทุกระดับและทุกการทดลองซ้ำที่บริเวณทางเข้าห้องลดอุณหภูมิและความชื้น บริเวณกลางห้องควบคุมและบริเวณทางออกห้องควบคุมค่าที่ได้ในจุดนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบโดยให้บริเวณทางเข้าห้องลดอุณหภูมิและความชื้นเป็นจุดอ้างอิง

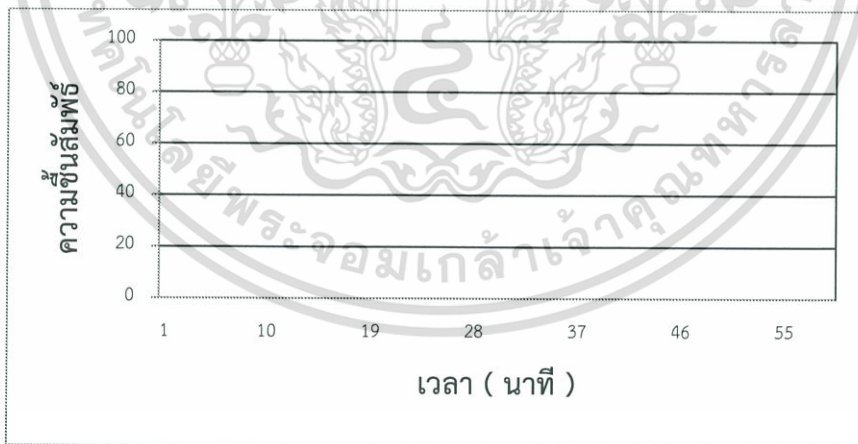
จากตารางที่ 3.3 เป็นการวิเคราะห์ค่าข้อมูลจากการคำนวณในตารางที่ 3.2 โดยให้บริเวณทางเข้าห้องลดอุณหภูมิและความชื้นเป็นจุดอ้างอิงเพื่อใช้ในการพิจารณาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นภายในส่วนทดลองนี้และใช้ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นในส่วนอื่น ๆ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาและความชื้นต่อเวลาในแต่ละปัจจัยที่ต้องการศึกษา

หลังจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ และคำนวณหาประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยโดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์แล้วสรุปในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับเวลาโดยกราฟจะแสดงในรูปดังต่อไปนี้



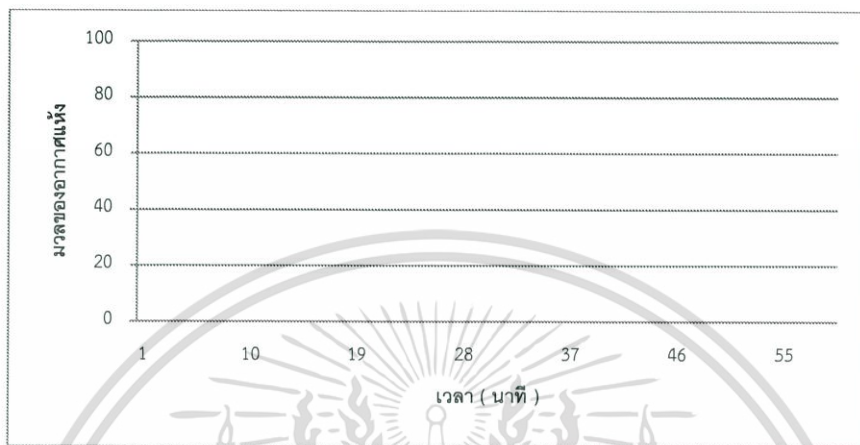
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา

จากกราฟรูปที่ 3.2 เป็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยกราฟความสัมพันธ์นี้จะแสดงถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของอุณหภูมิต่อเวลาของแต่ละส่วนการทดลอง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่ออุณหภูมิหรือไม่ ด้วยเหตุใด



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา

จากกราฟรูปที่ 3.3 เป็นความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับเวลาของปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้ง 2 ปัจจัย โดยกราฟความสัมพันธ์นี้จะแสดงถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของความชื้นสัมพัทธ์ต่อเวลาของแต่ละส่วนการทดลอง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าปัจจัยที่ต้องการศึกษามีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์หรือไม่ ด้วยเหตุใด และในส่วนนี้จะทำให้เราทราบถึงปัจจัยของแผ่นสารดูดความชื้นอย่างแน่ชัด



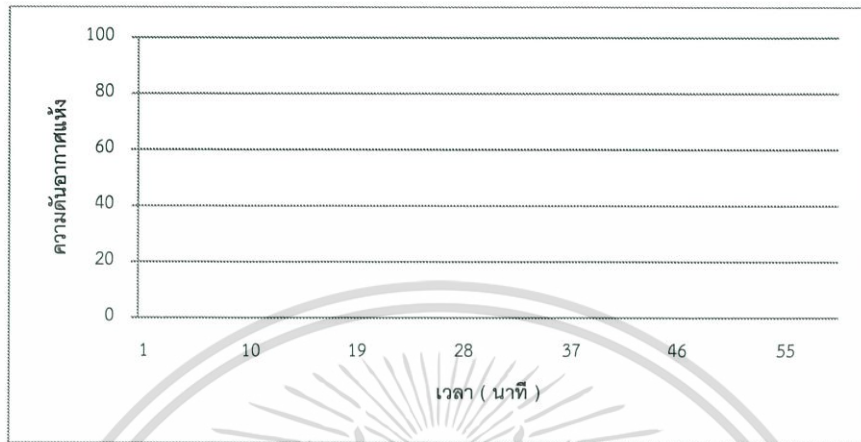
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมวลของอากาศแห้งกับเวลา

จากกราฟรูปที่ 3.4 เป็นความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งกับเวลาของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยกราฟความสัมพันธ์นี้จะแสดงถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของมวลอากาศแห้งต่อเวลาของแต่ละส่วนการทดลอง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่ามวลของอากาศแห้งภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนไป



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำกับเวลา

จากกราฟรูปที่ 3.5 เป็นความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำกับเวลาของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยกราฟความสัมพันธ์นี้จะแสดงถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของมวลไอน้ำต่อเวลาของแต่ละส่วนการทดลอง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่ามวลของอากาศแห้งภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนไป



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งกับเวลา

จากกราฟรูปที่ 3.6 เป็นความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งกับเวลาของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยกราฟความสัมพันธ์นี้จะแสดงถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของความดันอากาศแห้งต่อเวลาของแต่ละส่วนการทดลอง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่ามวลของอากาศแห้งภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนไป



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำกับเวลา

จากกราฟรูปที่ 3.7 เป็นความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำกับเวลาของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยกราฟความสัมพันธ์นี้จะแสดงถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปของความดันไอน้ำต่อเวลาของแต่ละส่วนการทดลอง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่ามวลของอากาศแห่งภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนไป

ภายหลังจากการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ทุกค่าเสร็จเรียบร้อยแล้วจะสามารถสรุปได้ว่าองค์ประกอบใดบ้างมีผลต่อปัจจัยที่ต้องการศึกษาและปัจจัยที่ต้องการศึกษามีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นหรือไม่ พร้อมทั้งยังสามารถหาประสิทธิภาพการของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อีกด้วยโดยการสรุปผลการดำเนินงานจะถูกสรุปในหัวข้อถัดไปพร้อมทั้งข้อเสนอแนะของการศึกษา

3.6 สรุปผลการดำเนินงาน

ภายหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลพร้อมทั้งสรุปให้อยู่ในรูปกราฟความสัมพันธ์เรียบร้อยแล้วจะทำการสรุปผลการทดลองที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและกระชับ โดยการสรุปผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลักดังต่อไปนี้

3.6.1 สรุปผลการทดลองอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การสรุปผลการทดลองจะทำการสรุปเป็นข้อ ๆ เฉพาะปัจจัยสำคัญของอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พร้อมทั้งสรุปว่าอุณหภูมิในอุปกรณ์ใดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยที่สุด โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าเท่าใด ถ้าหากอุณหภูมิของน้ำอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไม่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะทำการสรุปว่าองค์ประกอบใดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเท่านั้น

3.6.2 สรุปผลการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การสรุปผลการทดลองจะทำการสรุปเป็นข้อ ๆ เฉพาะปัจจัยสำคัญของแผ่นสารดูดความชื้นที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พร้อมทั้งสรุปว่าแผ่นสารดูดความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจากการทดลองใดมากหรือน้อยที่สุด โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าเท่าใด ถ้าหากแผ่นสารดูดความชื้นไม่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะทำการสรุปว่าองค์ประกอบใดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเท่านั้น

3.6.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการดำเนินการศึกษานี้จะแบ่งเป็นข้อเสนอแนะของการทดลองแต่ละปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยจึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 หัวข้อคือ 1. ข้อเสนอแนะการทดลองอุณหภูมิน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและ 2. ข้อเสนอแนะแผ่นสารดูดความชื้นมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยจะเป็นการชี้ถึงข้อด้อยที่ต้องการการพัฒนาต่อไปในอนาคต



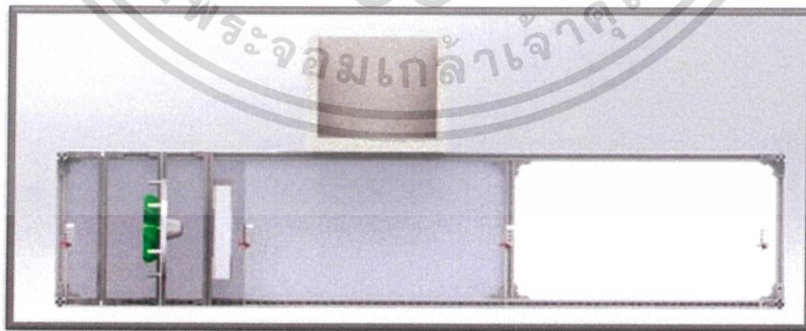
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

หลังจากการศึกษาวិเคราะห์และหาแนวทางในออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบประเหยจากบทที่ 3 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ และ 2. การทดลองปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ อุณหภูมิของน้ำและแผ่นสารดูดความชื้น ผลจากการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการออกแบบและสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบประเหย

จากการออกแบบชุดควบคุมด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2016 ตามรูปแบบและขนาดที่ต้องการในบทที่ 3 คือชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบประเหยขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบประเหยสามารถต่อกับห้องทดลองเพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้นได้ มีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรงและสามารถถอดแผ่นสารดูดความชื้นออกเปลี่ยนได้จึงได้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบประเหย

โดยมีองค์ประกอบของชิ้นส่วนในการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้ ส่วนที่ 1 ห้องลดอุณหภูมิและความชื้น และ 2 ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1. แผ่นสารดูดความชื้น

ในส่วนของการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยต้องมีการติดตั้งแผ่นสารดูดความชื้น จำนวน 1 ชั้นซึ่งทำมาจากแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดขนาดกว้าง 27 เซนติเมตร ยาว 34 เซนติเมตรหนา 3 มิลลิเมตร โดยภายในจะตัดเป็นช่องเล็กๆ ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตรซึ่งในแต่ละช่องจะบรรจุสารดูดความชื้นไว้จำนวนครึ่งหนึ่งของช่องและทำการติดตั้งอุปกรณ์ไว้บริเวณหน้าสุดของชุดทดลองการติดตั้งข้างต้นจะใช้วิธีสอดเข้ากับช่องของเสาที่อยู่บริเวณด้านข้างทั้งสองด้าน

2. พัดลม

พัดลมเป็นชนิดตั้งโต๊ะขนาดเล็กที่มีหน้ากว้าง 15 เซนติเมตร จำนวน 1 ชั้น นำมาประยุกต์โดยการถอดฝาหลังแล้วประกอบเข้าแผ่นกระดาษ ABS ที่เจาะพอดีกับขนาดหน้ากว้างของพัดลมเพื่อไม่ให้ลมที่ผ่านเข้าสู่ระบบมาจากช่องทางอื่นที่นอกเหนือจากที่พัดลมพัดซึ่งการติดตั้งพัดลมจะสอดเข้ากับช่องของเสาที่อยู่บริเวณด้านข้างทั้งสองด้านและระยะห่างระหว่างพัดลมกับแผ่นสารดูดความชื้นห่างกัน 5 เซนติเมตร

3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นการประยุกต์นำหม้อน้ำของรถยนต์ขนาดกว้าง 21 เซนติเมตร ยาว 21 เซนติเมตรและหนา 4 เซนติเมตร จำนวน 1 ชั้นติดตั้งเข้ากับระบบน้ำที่ต่อสายน้ำเข้าและน้ำออกอย่างละ 1 ชั้นและปลายอีกด้านหนึ่งต่อภาชนะเก็บกักน้ำที่มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำชนิด DS18B20 ในการวัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไปของการทดลอง โดยติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ากับช่องของเสาที่อยู่บริเวณด้านข้างทั้งสองด้านและระยะห่างระหว่างพัดลมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนห่างกัน 5 เซนติเมตร

4. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

ในการศึกษานี้ใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นประเภท DHT 22 ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศนำมาใช้ในการวัดส่วนต่าง ๆ ภายในชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นรวมถึงห้องทดลองโดย DHT22 สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วงในช่วง -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียสและสามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 0 - 100%RH ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 - 5%

5. เซนเซอร์วัดความดันอากาศ

ในการศึกษานี้ใช้เซนเซอร์วัดความดันอากาศประเภท BMP180 ในการวัดความดันของอากาศนำมาใช้ในการวัดส่วนต่าง ๆ ภายในชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นรวมถึงห้องทดลอง โดย BMP180 สามารถวัดความดันอากาศได้ในช่วงในช่วง 300 - 1100 hPa หรือ +9000 ถึง -500 เมตร

6. เซนเซอร์วัดความเร็วลม

ในการศึกษานี้ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วลมประเภท Air Flow Anemometer รุ่น AN 100 ในการวัดวัดความเร็วลมตอนเข้าสู่ชุดควบคุมและความเร็วลมในช่วงออกจากห้องทดลองโดย Anemometer รุ่น AN 100 สามารถวัดความเร็วลมได้ในช่วงในช่วง 0.40 – 30.00 m/s

จากแบบที่ได้จากโปรแกรม SOLIDWORKS 2016 นี้จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยในขั้นตอนถัดไป

4.2 ผลการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์

จากการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์โดยทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถแบ่งชุดทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1 อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ชุดทดลอง 2 บริเวณกลางห้องทดลอง 3 บริเวณท้ายห้องทดลอง

สำหรับส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่าของตัวแปรที่สนใจนั้นมีเพียง 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4 จากในความเป็นจริงมีการติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมด 4 ส่วนเนื่องจากเซนเซอร์บริเวณหลังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเกิดความผิดพลาดจากการวัด จึงไม่ใช้ส่วนนี้ในการคิดประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในการศึกษานี้

4.2.1 ส่วนที่ 1 อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

จากแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยจะทำให้ได้ค่าของอุณหภูมิในส่วนที่ 1 หลังจากนั้นนำค่าของความดันที่ได้มาเปิดตารางหาค่าความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 1 (P_{g_1}) ดังสมการ

$$P_{g_1} = P_{sat} \quad \text{N/m}^2 \text{ ที่อุณหภูมิ } T_1 \quad (4.1)$$

เมื่อ P_{g_1} คือ ความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 1

P_{sat} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว

T_1 คือ อุณหภูมิ ณ ชุดทดลองส่วนที่ 1

หลังจากที่ได้ค่าความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 1 แล้วนำค่าที่ได้มาคูณกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองจะทำให้ได้ค่าความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 1 (P_{v_1}) ดังสมการ

$$P_{v_1} = \phi_1 P_{g_1} \quad \text{N/m}^2 \quad (4.2)$$

เมื่อ P_{v_1} คือ ความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 1

ϕ_1 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลองส่วนที่ 1

นำค่าความดันอากาศที่ได้จากการทดลองมาลบกับค่าความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 1 แล้วสามารถคำนวณหาค่าความดันของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 (P_{a_1})

ตั้งสมการ

$$P_{a_1} = P_1 - P_{v_1} \quad \text{N/m}^2 \quad (4.3)$$

เมื่อ P_{a_1} คือ ความดันของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1

P_1 คือ ความดันของอากาศ

จากสมการอัตราส่วนความชื้น เมื่อนำค่าความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้งที่ได้มาแทนที่จะได้ค่าความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 1 (ω_1) ตั้งสมการ

$$\omega_1 = 0.622 \frac{P_{v_1}}{P_{a_1}} \quad \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{dry air}} \quad (4.4)$$

เมื่อ ω_1 คือ ความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 1

หลังจากนั้นคำนวณหาค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่หนึ่ง (\dot{V}_1) จากสมการ

คำนวณหาปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 (V_{a_1})

$$V_{a_1} = \frac{R_{a_1} T_1}{P_{a_1}} \quad (4.5)$$

เมื่อ V_{a_1} คือ ปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1

R_{a_1} คือ ค่าคงที่สำหรับก๊าซหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ 287 J/kgK

จากสมการจะได้ค่าปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาแทนคุณกับพื้นที่หน้าตัดของชุดทดลองส่วนที่ 1 จะทำให้ได้ค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 1 ตั้งสมการ

$$\dot{V}_1 = A_1 \bar{V}_1 \quad \text{m}^3 / \text{s} \quad (4.6)$$

เมื่อ \dot{V}_1 คือ อัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 1

A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดของชุดทดลองส่วนที่ 1

\bar{V}_1 คือ ความเร็วลมเฉลี่ย

นำค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 1 มาหารด้วยค่าปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 จะได้ค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 (\dot{m}_{a_1}) ตั้งสมการ

$$\dot{m}_{a_1} = \frac{\dot{V}_1}{V_{a_1}} \quad \text{kg/s} \quad (4.7)$$

เมื่อ \dot{m}_{a_1} คือ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1

นำค่าความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 1 คูณกับอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 สามารถหาค่าอัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 1 (\dot{m}_{v_1}) ดังสมการ

$$\dot{m}_{v_1} = \omega_1 \dot{m}_{a_1} \quad \text{kg/s} \quad (4.8)$$

เมื่อ \dot{m}_{v_1} คือ อัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 1

และรวมอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 1 กับค่าอัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 1 จะได้ค่าอัตราการไหลโดยมวลอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 1 (\dot{m}_1) ดังสมการ

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{a_1} + \dot{m}_{v_1} \quad \text{kg/s} \quad (4.9)$$

เมื่อ \dot{m}_1 คือ อัตราการไหลโดยมวลอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 1

4.2.2 ส่วนที่ 3 บริเวณกลางห้องทดลอง

จากแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยจะทำให้ได้ค่าของอุณหภูมิในส่วนที่ 3 หลังจากนั้นนำค่าของความดันที่ได้มาเปิดตารางหาค่าความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 3 (P_{g_3}) ดังสมการ

$$P_{g_3} = P_{sat} \quad \text{N/m}^2 \text{ ที่อุณหภูมิ } T_3 \quad (4.10)$$

เมื่อ P_{g_3} คือ ความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 3

P_{sat} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว

T_3 คือ อุณหภูมิ ณ ชุดทดลองส่วนที่ 3

หลังจากที่ได้ค่าความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 3 แล้วนำค่าที่ได้มาคูณกับความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 3 จะทำให้ได้ค่าความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 3 (P_{v_3}) ดังสมการ

$$P_{v_3} = \phi_3 P_{g_3} \quad \text{N/m}^2 \quad (4.11)$$

เมื่อ P_{v_3} คือ ความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 3

ϕ_3 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลองส่วนที่ 3

นำค่าความดันอากาศส่วนที่ 3 ที่ได้จากการทดลองมาลบกับค่าความดันของไอน้ำแล้วสามารถคำนวณหาค่าความดันของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3 (P_{a_3}) ได้ดังสมการ

$$P_{a_3} = P_3 - P_{v_3} \quad \text{N/m}^2 \quad (4.12)$$

เมื่อ P_{a_3} คือ ความดันของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3

P_3 คือ ความดันของอากาศ ณ ชุดทดลองส่วนที่ 3

จากสมการอัตราส่วนความชื้น เมื่อนำค่าความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้งที่ได้มาแทนที่จะได้ค่าความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 3 (ω_3)

$$\omega_3 = 0.622 \frac{P_{v_3}}{P_{a_3}} \quad \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{dry air}} \quad (4.13)$$

เมื่อ ω_3 คือ ความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 3

คำนวณหาค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3 (\dot{m}_{a_3}) จากการหาปริมาตรของชุดทดลองส่วนที่ 3 คูณด้วยความดันของอากาศ ณ ชุดทดลองส่วนที่ 3 และหารด้วยค่าคงที่สำหรับก๊าซหนึ่ง ๆ คูณด้วยอุณหภูมิของชุดทดลองในส่วนที่ 3

$$\dot{m}_{a_3} = \frac{P_{a_3} (A_3 L)}{R_{a_3} T_3} \quad (4.12)$$

เมื่อ \dot{m}_{a_3} คือ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3

A_3 คือ พื้นที่หน้าตัดของชุดทดลองในส่วนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.09

L คือ ความยาวของชุดทดลองในส่วนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.575m

R_{a_3} คือ ค่าคงที่สำหรับก๊าซหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ 287 J / kgK

นำค่าความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 3 คูณกับอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3 ดังสมการ

$$\dot{m}_{v_3} = \omega_3 \dot{m}_{a_3} \quad \text{kg / s} \quad (4.13)$$

เมื่อ \dot{m}_{a_2} คือ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3

\dot{m}_{v_3} คือ อัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 3

และเมื่อได้ค่าของอัตราการไหลโดยมวลไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองที่ 1 และ 3 แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการควบแน่นของน้ำในอากาศที่ชุดทดลองส่วนที่สอง (\dot{m}_w) ดังสมการ

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{v_1} - \dot{m}_{v_3} \quad \text{kg / s} \quad (4.14)$$

เมื่อ \dot{m}_w คือ อัตราการควบแน่นของน้ำในอากาศที่ชุดทดลองส่วนที่สอง

และรวมอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 3 กับค่าอัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 3 จะได้ค่าอัตราการไหลโดยมวลอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 3 (\dot{m}_3)

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_{a_3} + \dot{m}_{v_3} \quad \text{kg / s} \quad (4.15)$$

เมื่อ \dot{m}_3 คือ อัตราการไหลโดยมวลอากาศของชุดทดลองส่วนที่สอง

4.2.3 ส่วนที่ 4. บริเวณท้ายห้องควบคุม

จากแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยจะทำให้ได้ค่าของอุณหภูมิในส่วนที่ 4 หลังจากนั้นนำค่าของความดันที่ได้มาเปิดตารางหาค่าความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 4 (P_{g_4})

$$P_{s_4} = P_{sat} \quad N/m^2 \text{ ที่อุณหภูมิ } T_4 \quad (4.16)$$

เมื่อ P_{s_4} คือ ความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 4

P_{sat} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว

T_4 คือ อุณหภูมิ ณ ชุดทดลองส่วนที่ 4

หลังจากที่ได้ค่าความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 4 แล้วนำค่าที่ได้มาคูณกับความดันเกจของชุดทดลองส่วนที่ 4 จะทำให้ได้ค่าความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 34 (P_{v_4}) ดังสมการ

$$P_{v_4} = \phi_4 P_{s_4} \quad N/m^2 \quad (4.17)$$

เมื่อ P_{v_4} คือ ความดันของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 4

ϕ_4 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลองส่วนที่ 4

นำค่าความดันอากาศส่วนที่ 4 ที่ได้จากการทดลองมาลบกับค่าความดันของไอน้ำแล้วสามารถคำนวณค่าความดันของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4 (P_{a_4})

$$P_{a_4} = P_4 - P_{v_4} \quad N/m^2 \quad (4.18)$$

เมื่อ P_{a_4} คือ ความดันของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4

P_4 คือ ความดันของอากาศ ณ ชุดทดลองส่วนที่ 4

จากสมการอัตราส่วนความชื้น เมื่อนำค่าความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้งที่ได้มาแทนที่จะได้ค่าความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 4 (ω_4) ดังสมการ

$$\omega_4 = 0.622 \frac{P_{v_4}}{P_{a_4}} \quad \text{kg}_{H_2O} / \text{kg}_{dry air} \quad (4.19)$$

เมื่อ ω_4 คือ ความชื้นจำเพาะของชุดทดลองส่วนที่ 4

คำนวณหาปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4 (V_{a_4})

$$V_{a_4} = \frac{R_{a_4} T_4}{P_{a_4}} \quad (4.20)$$

เมื่อ V_{a_4} คือ ปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4

R_{a_4} คือ ค่าคงที่สำหรับก๊าซหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ 287 J / kgK

จากสมการจะได้ค่าปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาแทนคูณกับพื้นที่หน้าตัดของชุดทดลองส่วนที่ 4 จะทำให้ได้ค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 3 ดังสมการ

$$\dot{V}_4 = A_4 \bar{V}_4 \quad m^3 / s \quad (4.21)$$

เมื่อ \dot{V}_4 คือ อัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 4

A_4 คือ พื้นที่หน้าตัดของชุดทดลองส่วนที่ 4

\bar{V}_4 คือ ความเร็วลมเฉลี่ย

นำค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 4 มาหารด้วยค่าปริมาตรอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4 จะได้ค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4 (\dot{m}_{a_4}) ดังสมการ

$$\dot{m}_{a_4} = \frac{\dot{V}_4}{V_{a_4}} \quad \text{kg / s} \quad (4.22)$$

เมื่อ \dot{m}_{a_4} คือ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4

$$\dot{m}_{v_4} = \omega_4 \dot{m}_{a_4} \quad \text{kg / s} \quad (4.23)$$

เมื่อ \dot{m}_{a_4} คือ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4

\dot{m}_{v_4} คือ อัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 4

และรวมอัตราการไหลโดยมวลของอากาศแห้งของชุดทดลองส่วนที่ 4 กับค่าอัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำในสถานะก๊าซของชุดทดลองส่วนที่ 4 จะได้ค่าอัตราการไหลโดยมวลอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 4 (\dot{m}_4) ดังสมการ

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_{a_4} + \dot{m}_{v_4} \quad \text{kg / s} \quad (4.24)$$

เมื่อ \dot{m}_4 คือ อัตราการไหลโดยมวลอากาศของชุดทดลองส่วนที่ 3

เมื่อหาค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาแล้วนำค่าที่ได้มาทำการปรับเทียบดังสมการ 4.25 จากนั้นนำค่าที่ผ่านการปรับเทียบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร

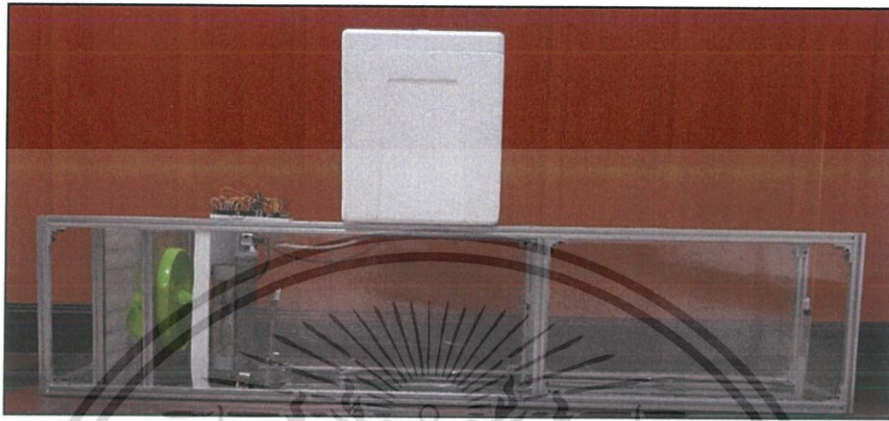
$$\text{ค่าตัวแปรปรับเทียบ} = (\text{ค่าตัวแปรส่วนที่ } X_1 - \text{ค่าตัวแปรส่วนที่ } X_n) \div \text{ค่าตัวแปรส่วนที่ } X_1 \quad (4.25)$$

เมื่อ X คือ ค่าของตัวแปรแต่ละส่วน

n คือ ส่วนของชุดทดลองส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 4

4.3 ผลของการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

ภายหลังจากที่เราได้แบบจากโปรแกรม SOLIDWORKS 2016 ตามที่ต้องการนำมาทำการประกอบตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อที่ 3.3 แล้วผลของการดำเนินการจะออกมาดังภาพที่ 4.2 เพื่อใช้ในการเก็บผลการทดลองของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนนี้



รูปที่ 4.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

4.4 ผลการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นระบบปรับอากาศแบบระเหย

ภายหลังจากการประมวลผลของโปรแกรม Arduino จากนั้นส่งผ่านข้อมูลมายังโปรแกรม Microsoft Excel ด้วยโปรแกรม PLX-DAQ ค่าที่ได้จากการทดลองจะถูกบันทึกทุก 4 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อ 1 การทดลองซ้ำ ทำการบันทึกผลการทดลองทุกระดับ ๆ ละ 3 ซ้ำ ตารางที่เก็บรวบรวมค่าจากการทดลองทั้งหมดจะอยู่ในแผ่นสไลด์ที่อยู่ที่ท้ายเล่มปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

4.5 ผลของการทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

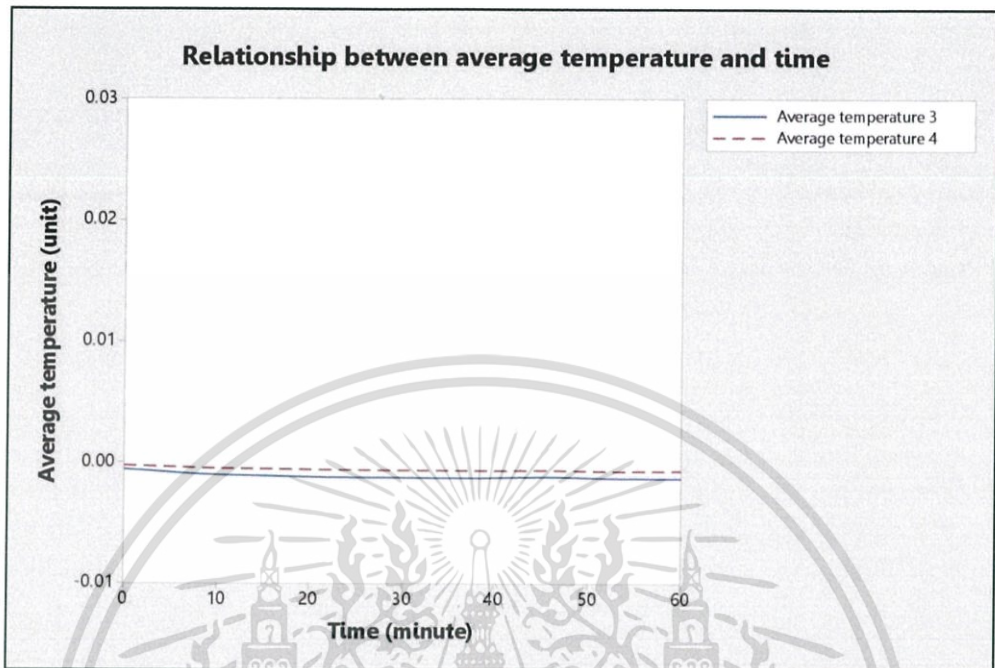
เมื่อการเก็บรวบรวมค่าจากการทดลองเสร็จสิ้นลงแล้วค่าที่ได้จะถูกนำมาคำนวณตามสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ในแต่ละระดับการทดลองทุกจำนวนการทดลองซ้ำ ในลำดับถัดมาค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำมาเปรียบเทียบระหว่างจุดอ้างอิงบริเวณหน้าห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (จุดที่ 1) กับบริเวณกลางห้องควบคุม (จุดที่ 3) และบริเวณท้ายห้องควบคุม (จุดที่ 4) โดยผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ผลลัพธ์ตามปัจจัยที่ต้องการศึกษา ดังต่อไปนี้

4.5.1 ผลของอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

ภายหลังจากการเปรียบเทียบข้อมูลของจุดที่ต้องการศึกษากับจุดอ้างอิง ผลการทดลองของอุณหภูมิของน้ำต่ออุณหภูมิและความชื้นจะถูกแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างตัวแปรกับเวลา แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

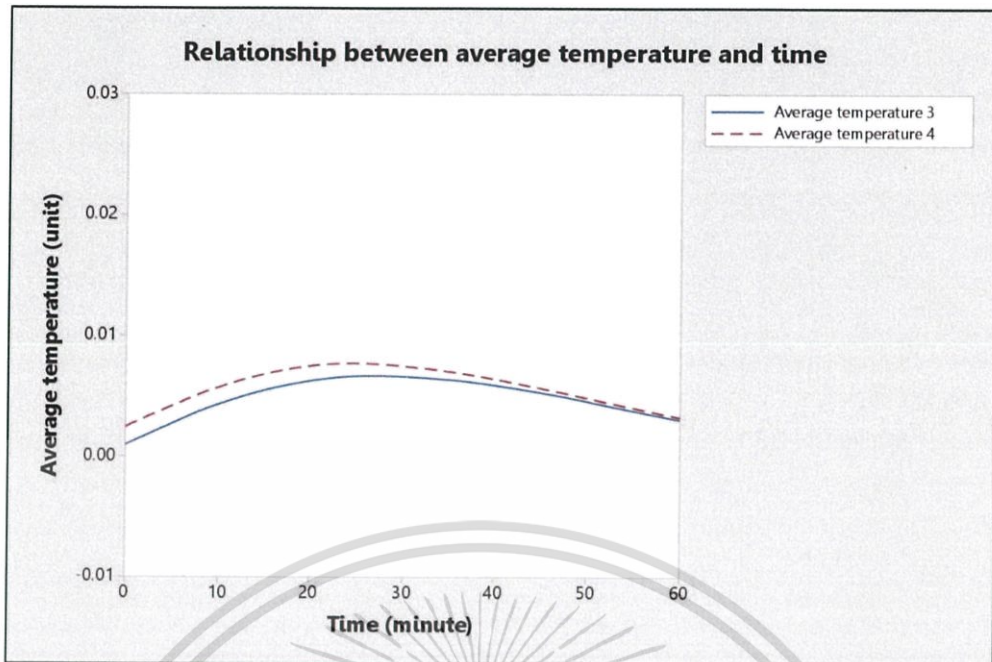
4.5.1.1 ไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น

1. ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



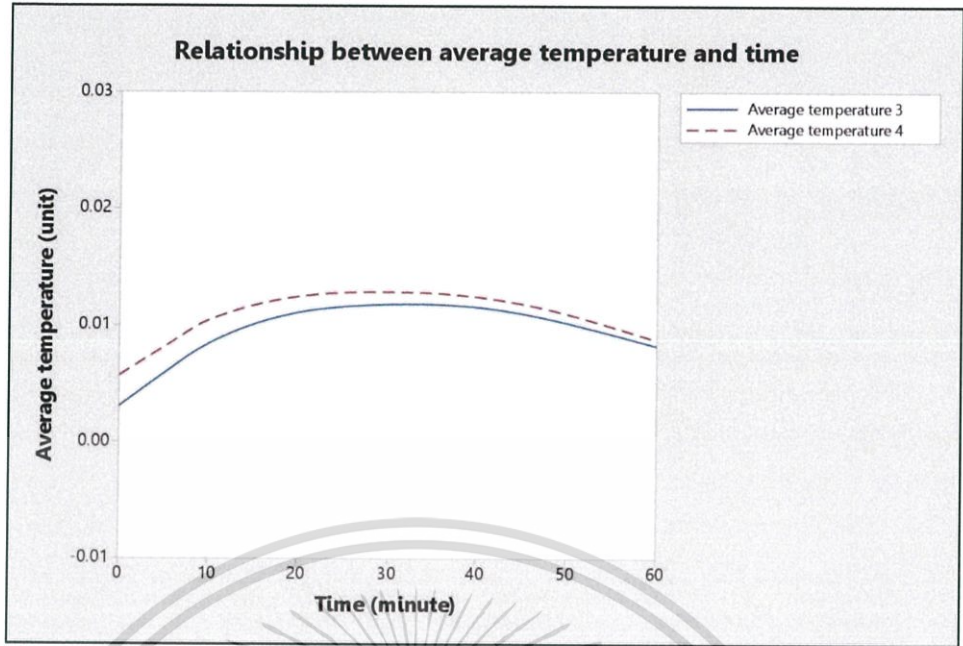
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 และมีค่าเฉลี่ยคงที่ตลอดการเก็บข้อมูล หรือสามารถพูดได้ว่าอุณหภูมิห้องควบคุมบริเวณจุดที่ 3 เท่ากับอุณหภูมิภายนอกตลอดเวลา กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้นกราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 มีค่าเฉลี่ยคงที่ตลอดการเก็บข้อมูลแต่จะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณจุดที่ 3 เล็กน้อยแต่ยังสามารถพูดได้ว่าอุณหภูมิห้องควบคุมบริเวณจุดที่ 4 เท่ากับอุณหภูมิภายนอกตลอดเวลา เนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิภายนอกจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในปริมาณที่ต่ำและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความร้อนที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงจุดเวลา 30 นาทีที่มีค่าประมาณ 0.004 แล้วจึงมีแนวโน้มต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิภายนอกก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลง เมื่อเวลา 30 นาทีอุณหภูมิลดลงต่ำสุดและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุดและกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงจุดเวลา 30 นาทีที่มีค่าประมาณ 0.005 แล้วจึงมีแนวโน้มต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อยหรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิภายนอกก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลง เมื่อเวลา 30 นาทีอุณหภูมิลดลงต่ำสุดและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุด โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่าจุดที่ 3 เล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็งปริมาตร 600 มิลลิลิตรจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับ



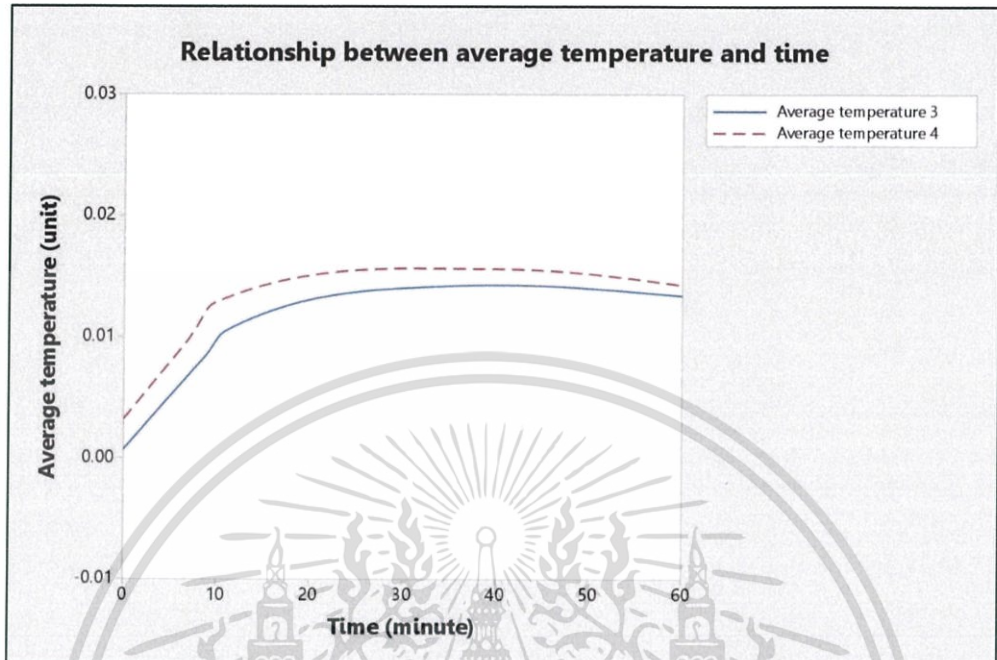
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีประมาณ 0.003 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา 15 นาทีและมีแนวโน้มสูงขึ้นต่ำลงจนถึงจุดเวลาประมาณ 40 นาทีโดยมีค่าประมาณ 0.01 กราฟจึงมีแนวโน้มต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อยก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 15 นาที จากนั้นมีการลดลงที่ช้าขึ้นจนถึงเวลา 40 นาที และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีประมาณ 0.005 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา 15 นาทีและมีแนวโน้มสูงขึ้นต่ำลงจนถึงจุดเวลาประมาณ 40 นาทีโดยมีค่าประมาณ 0.011 กราฟจึงมีแนวโน้มต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อยก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 15 นาที จากนั้นมีการลดลงที่ช้าขึ้นจนถึงเวลา 40 นาที และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุด โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่าจุดที่ 3 เล็กน้อย

เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็ง ปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 2 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา

หนึ่งก่อนจะลดลงอย่างช้า ๆ จากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับ



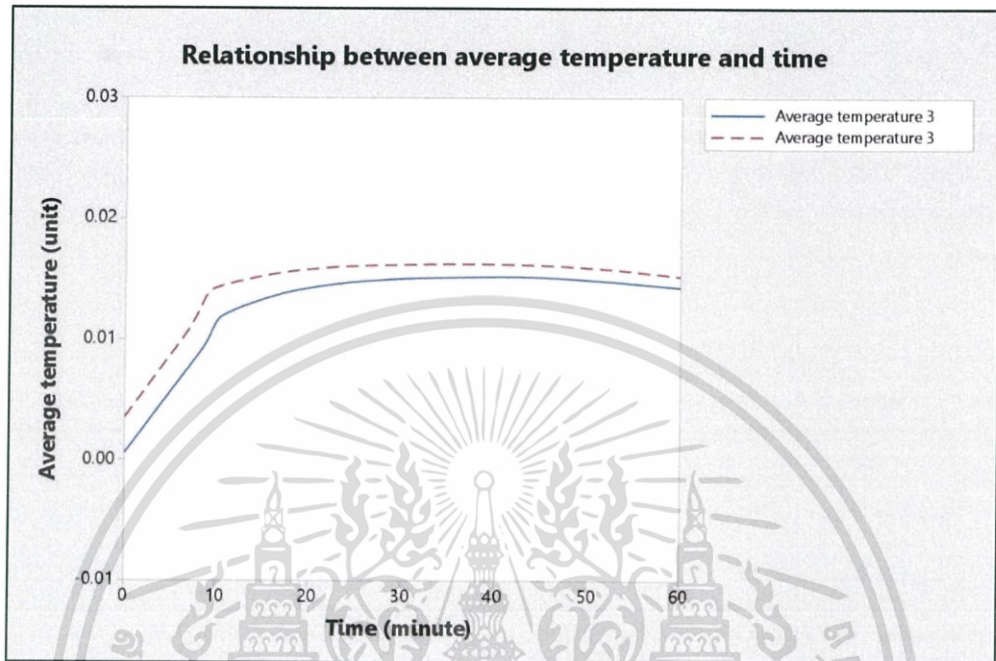
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความร้อนที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีประมาณ 0.001 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา 10 นาทีและมีแนวโน้มสูงขึ้นต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นประมาณ 0.01 หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิภายนอกก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 10 นาที จากนั้นเปลี่ยนแปลงในทิศทางเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีประมาณ 0.003 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา 10 นาทีและมีแนวโน้มสูงขึ้นต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นประมาณ 0.01 หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อยและอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 10 นาที จากนั้นเปลี่ยนแปลงในทิศทางเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาสิ้นสุด

อันเนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็ง ปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 3 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งก่อนจะลดลงเพียงเล็กน้อยจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับที่ลดลงเพราะอุณหภูมิภายในอุปกรณ์เปลี่ยนความร้อนกับภาชนะรองรับมีค่าเท่ากันและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาวะภายนอกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความร้อนที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

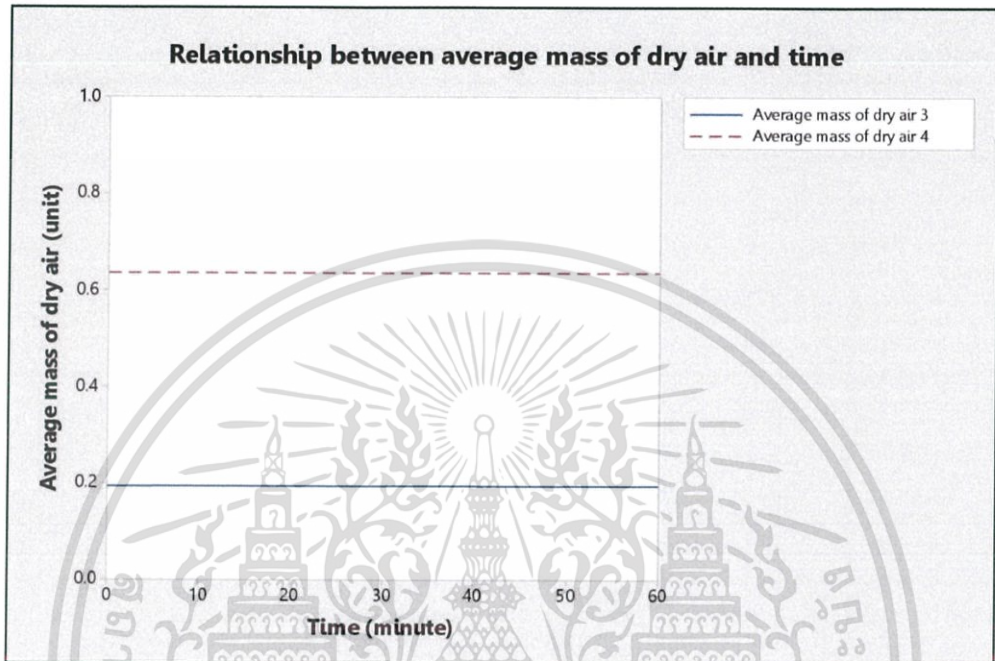
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา 10 นาทีและมีแนวโน้มสูงขึ้นต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นประมาณ 0.012 หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิภายนอกก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 10 นาที จากนั้นเปลี่ยนแปลงในทิศทางเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้นกราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีประมาณ 0.003 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา 10 นาทีและมีแนวโน้มสูงขึ้นต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นประมาณ 0.013 หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อย และอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลงอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 10 นาที จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาสิ้นสุด

อันเนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็ง ปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 4 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลา

หนึ่งก่อนจะลดลงเพียงเล็กน้อยจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับที่ลดลงเพราะอุณหภูมิภายในอุปกรณ์เปลี่ยนความร้อนกับภาชนะรองรับมีค่าเท่ากันและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาวะภายนอกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

2. ผลของมวลอากาศแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

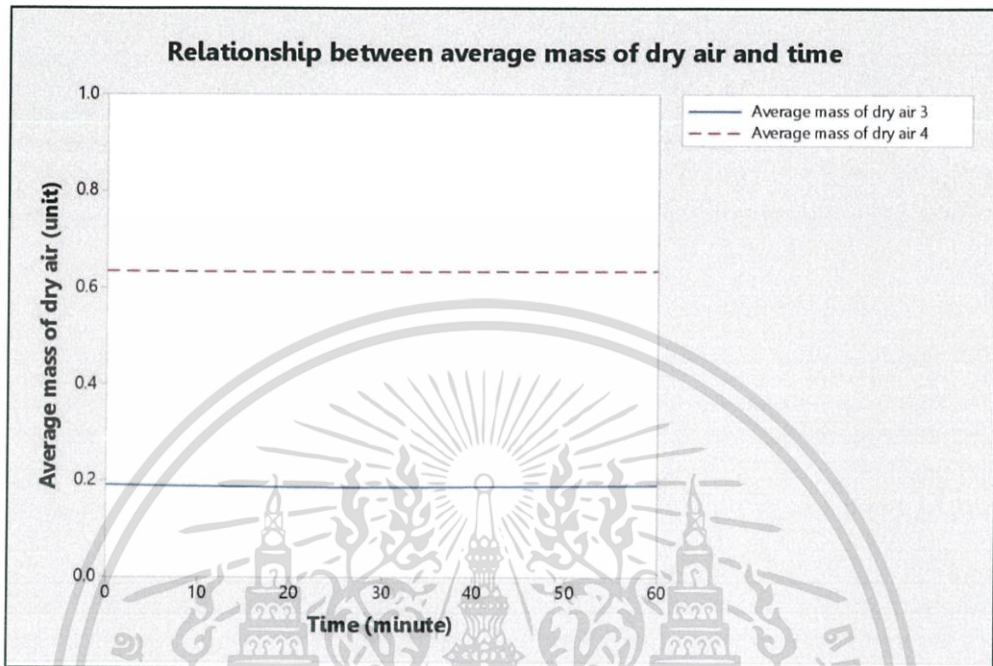
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และสงวนอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ๆ ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



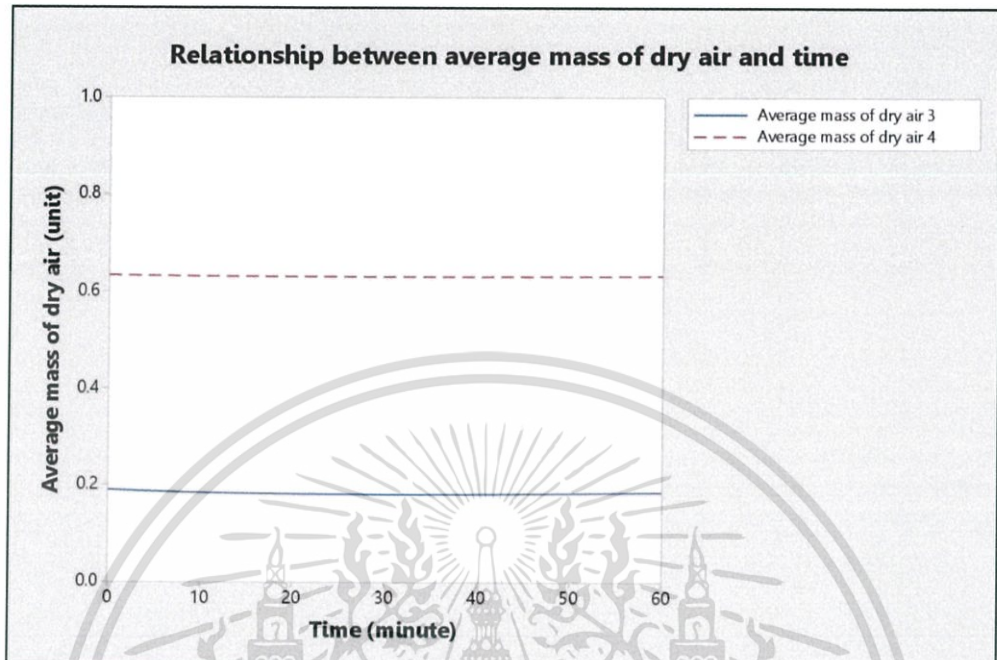
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้

ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ๆ ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



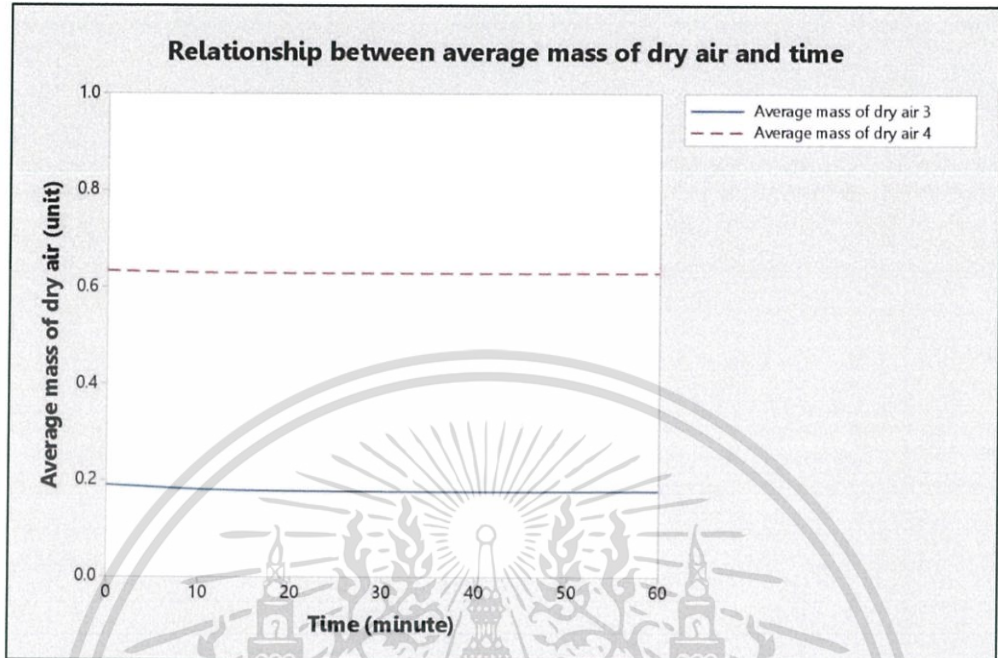
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้

ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ๆ ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



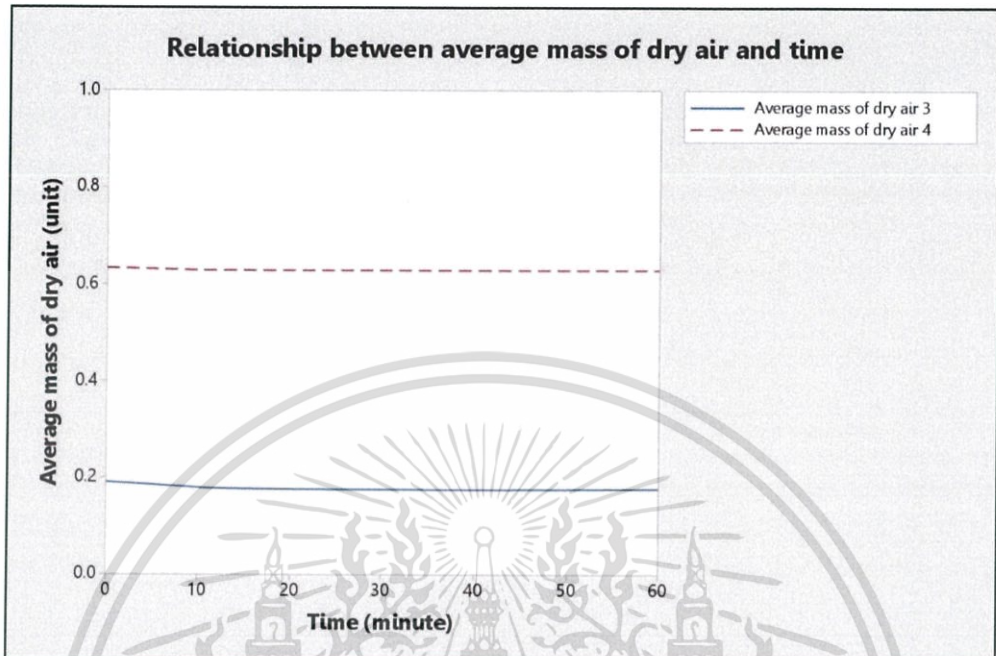
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้

ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ๆ ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

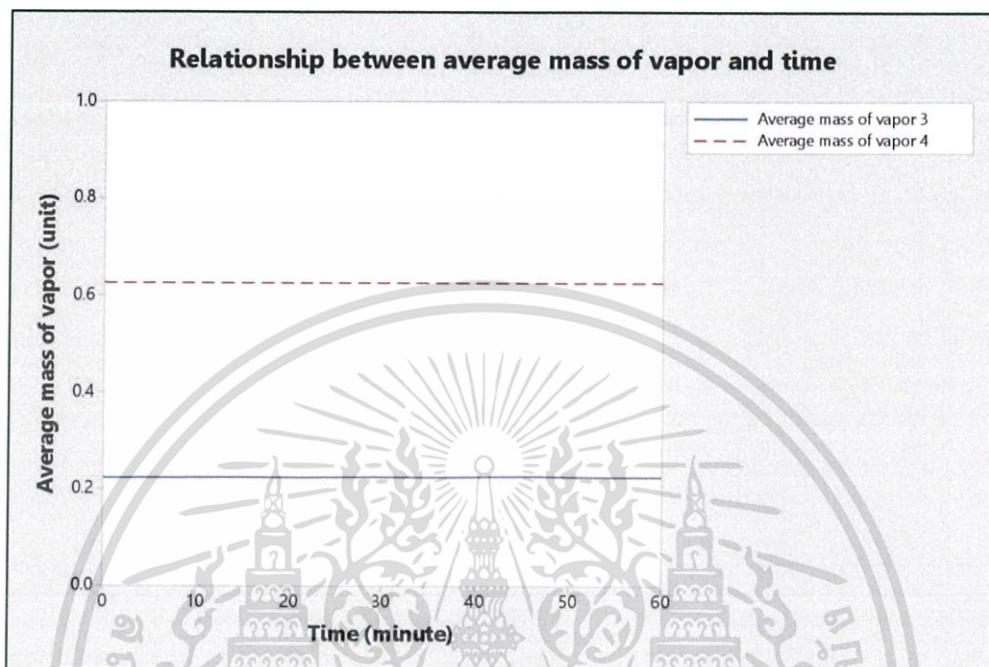
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้

ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ๆ ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3

3. ผลของมวลไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



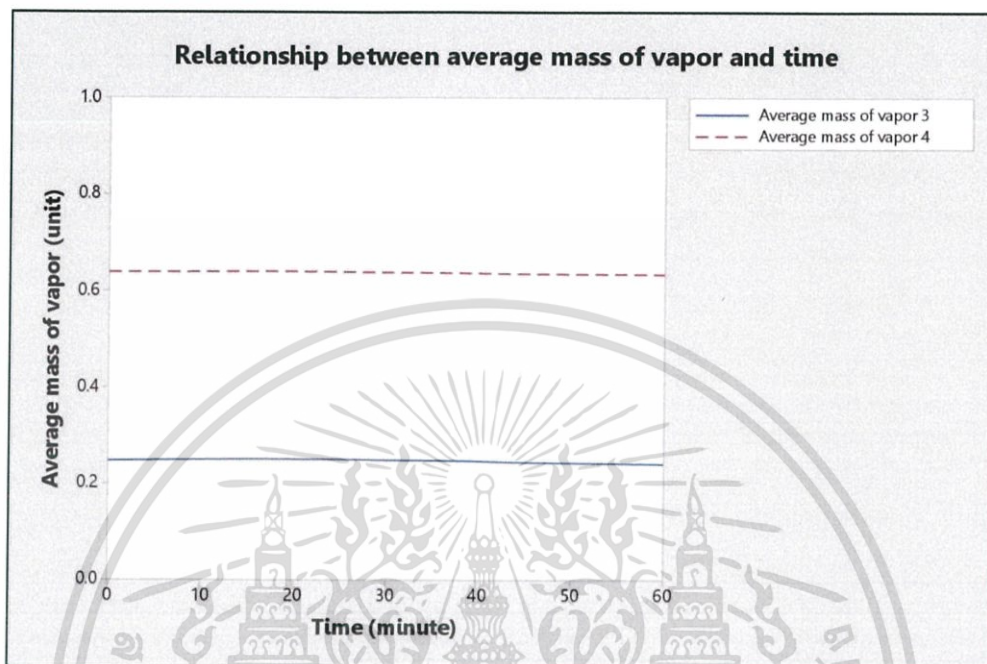
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลาแบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถ

คำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



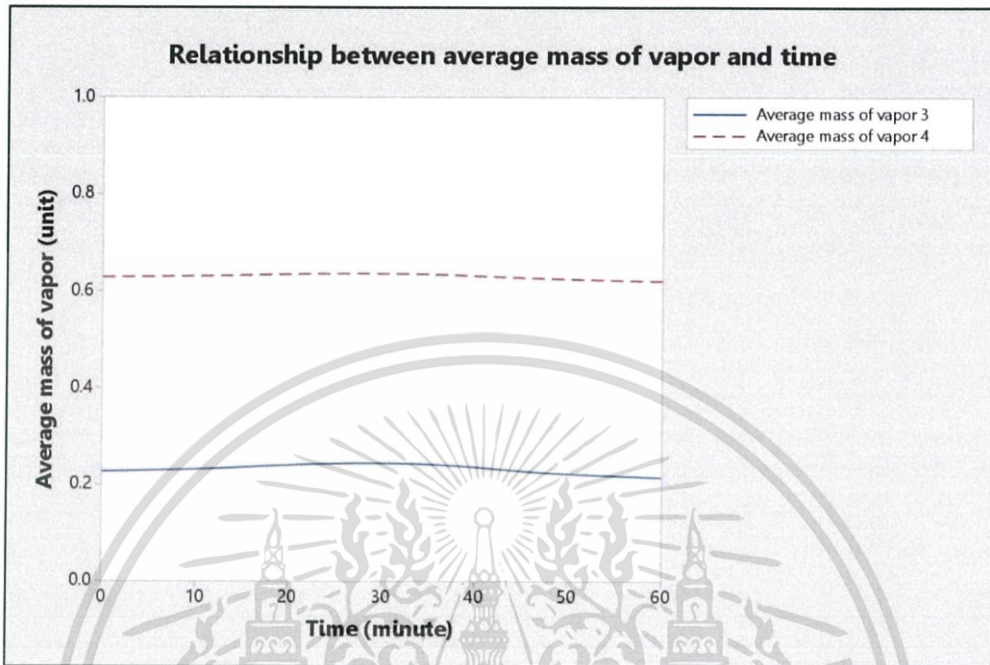
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออก

ท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



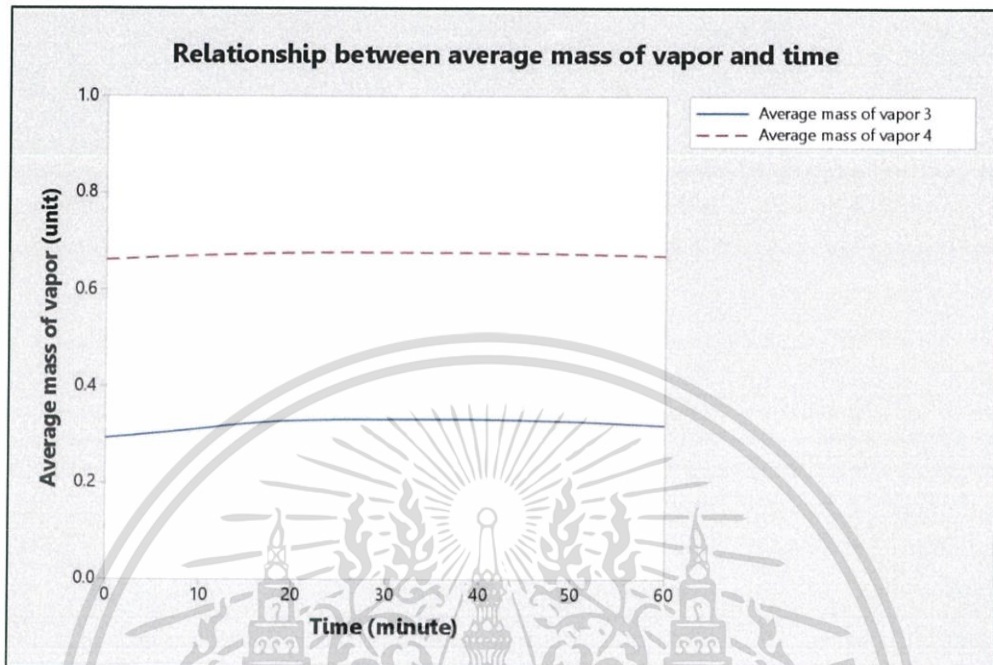
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออก

ท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



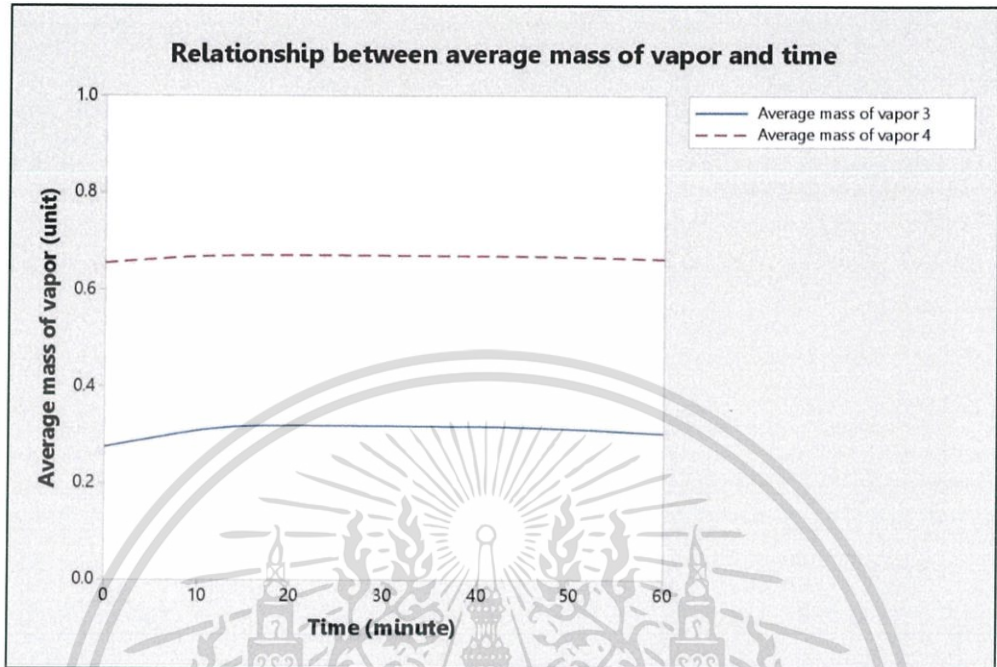
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออก

ท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

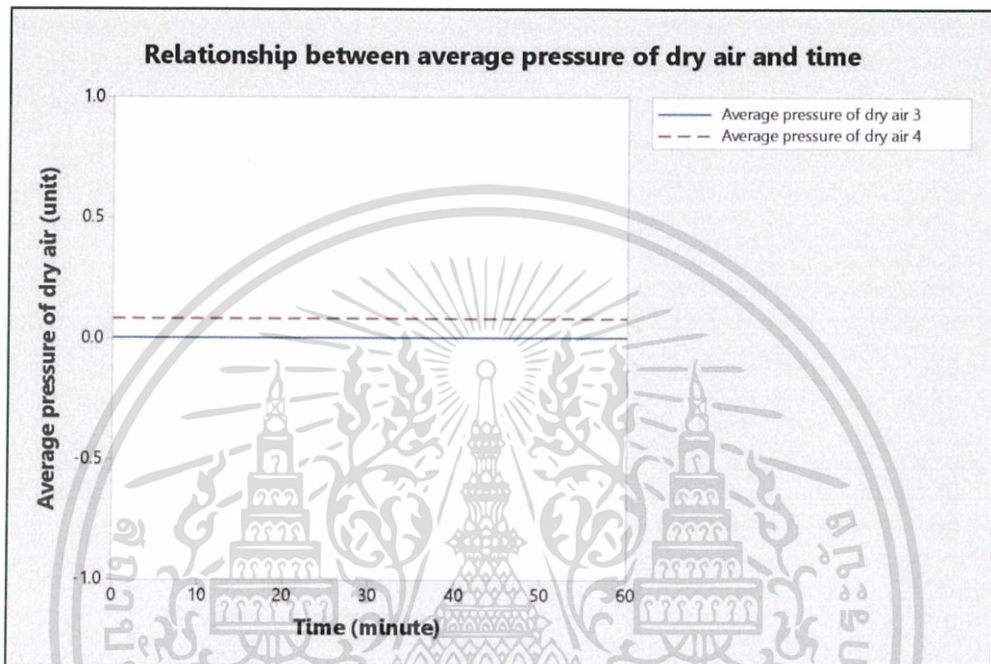
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออก

ท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3

4. ผลของความดันอากาศแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



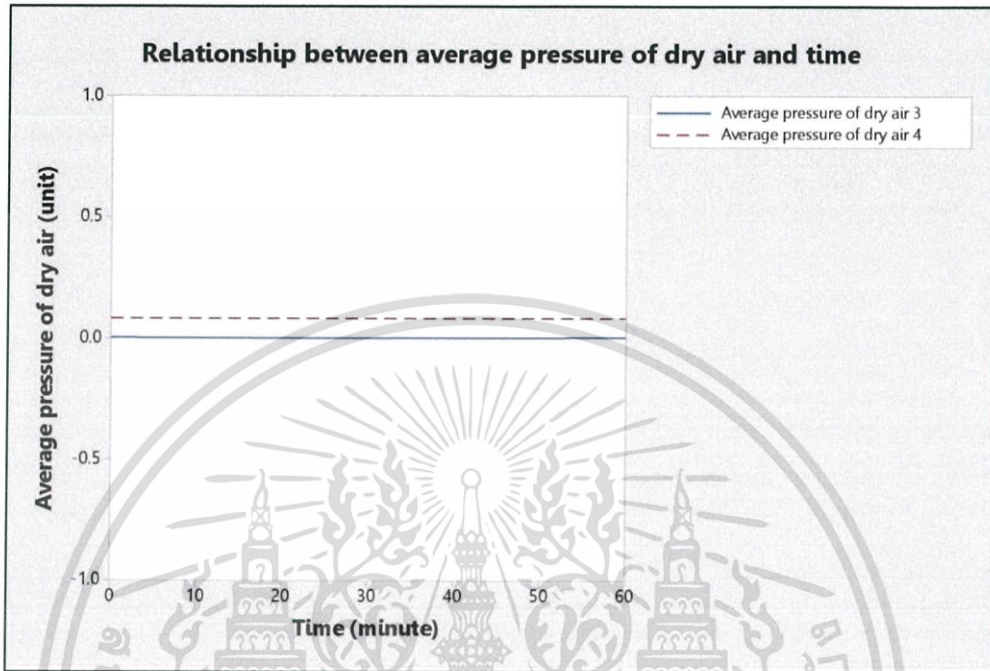
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย



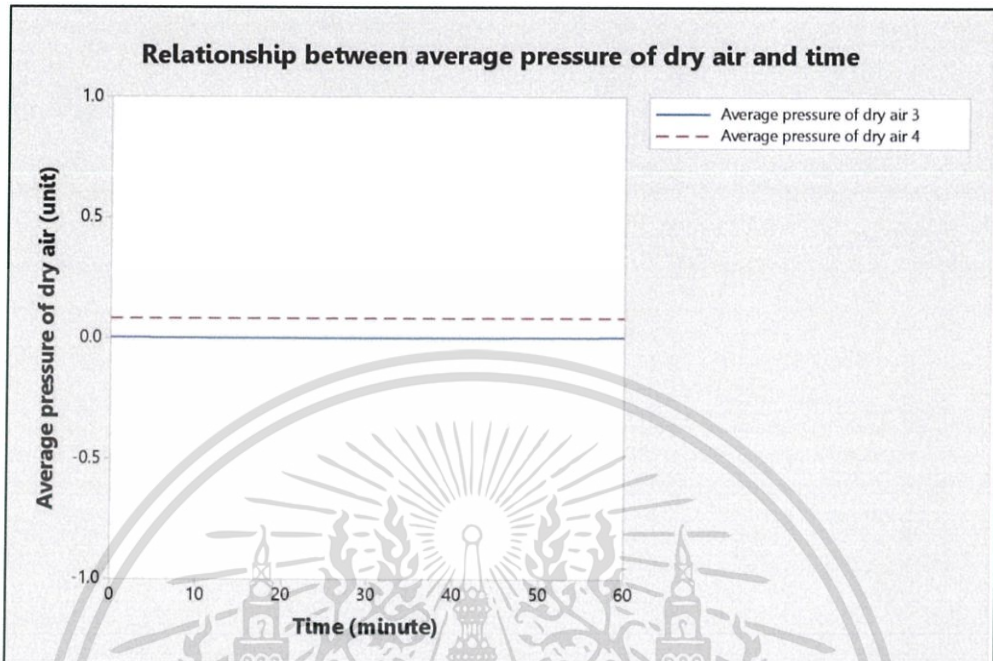
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ที่มีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ที่มีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ จากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวล

อากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย

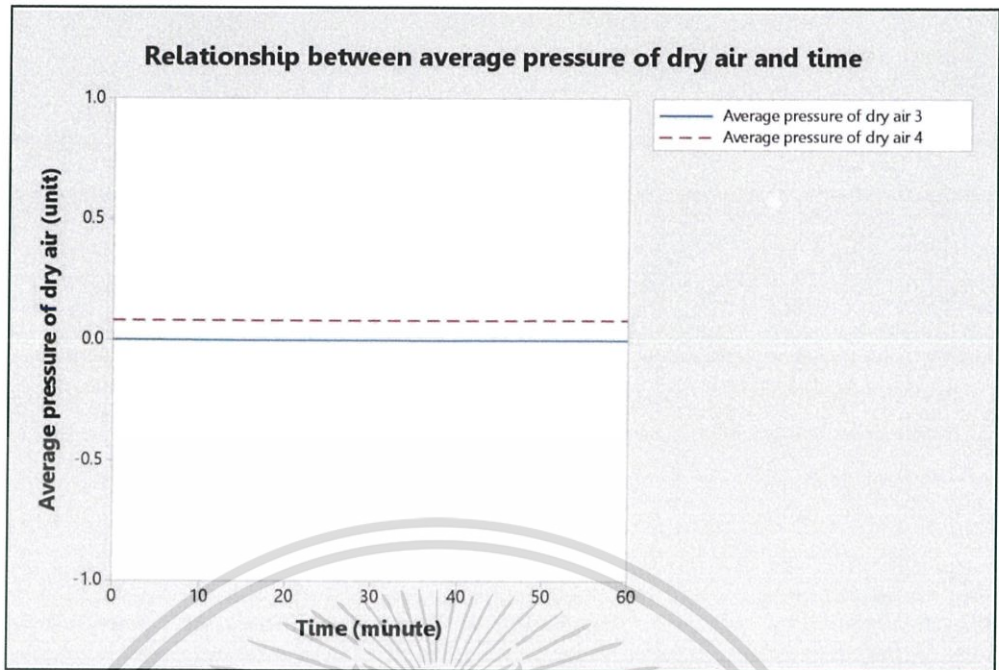


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ จากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย

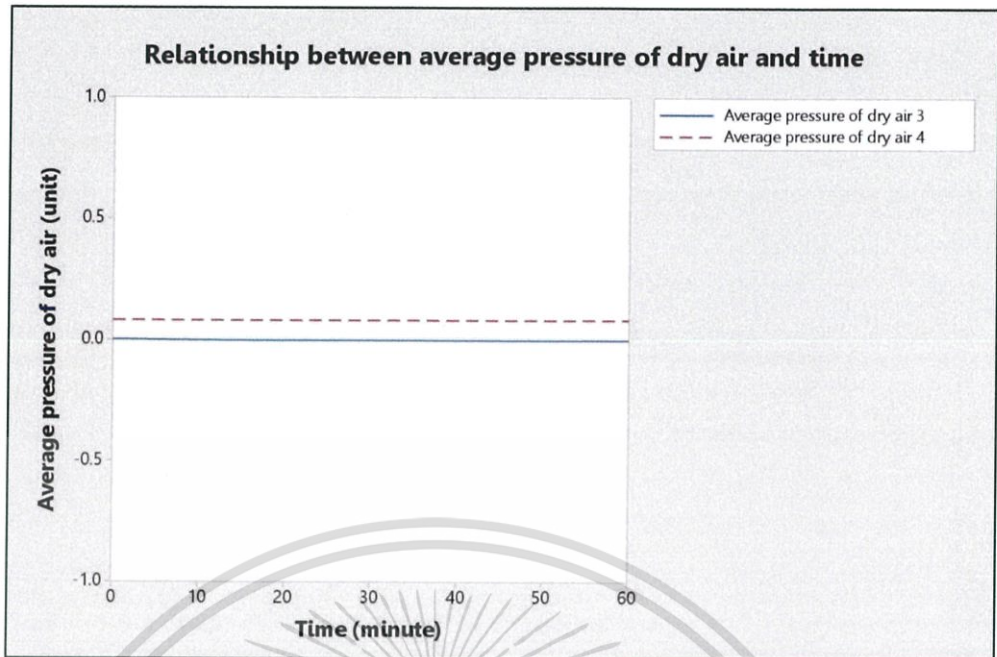


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย



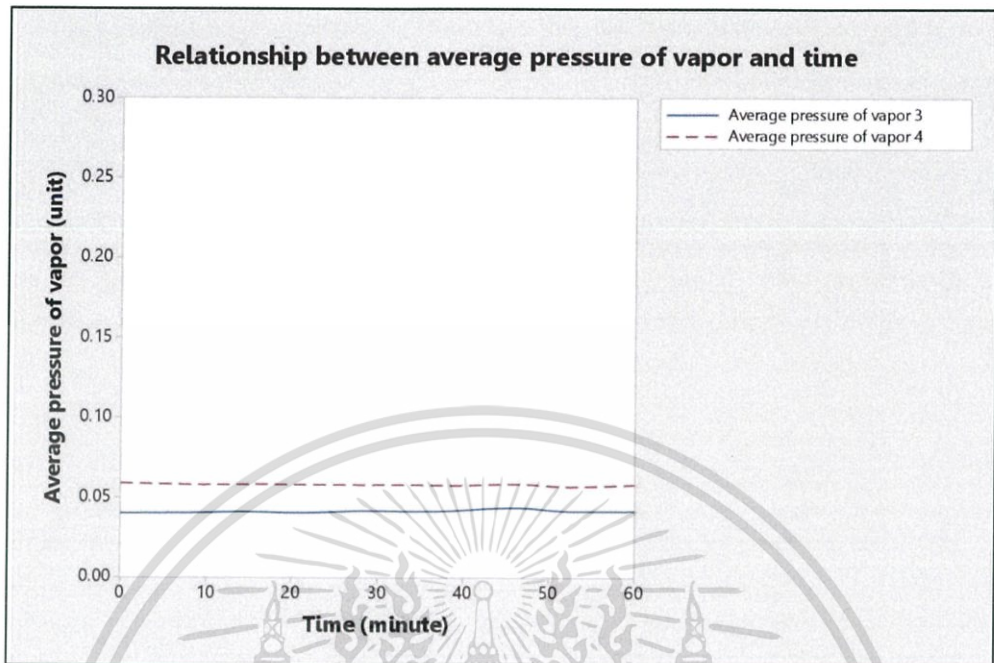
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ จากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย

5. ผลของความดันไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

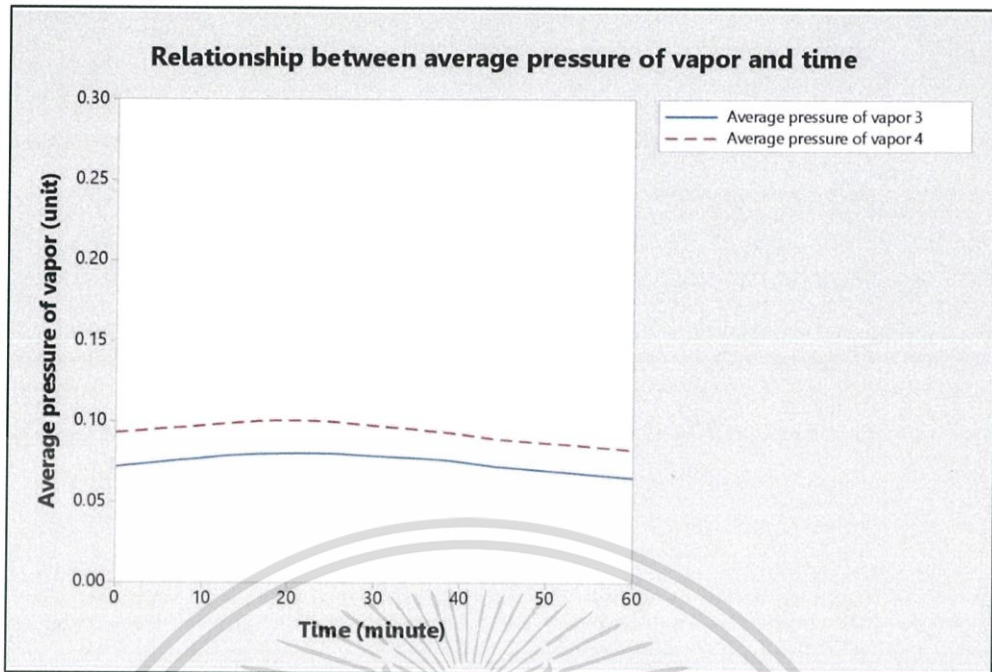


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.23 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.04 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรืออาจประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำภายนอกเล็กน้อยในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.06 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรืออาจประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำภายนอกเล็กน้อยในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

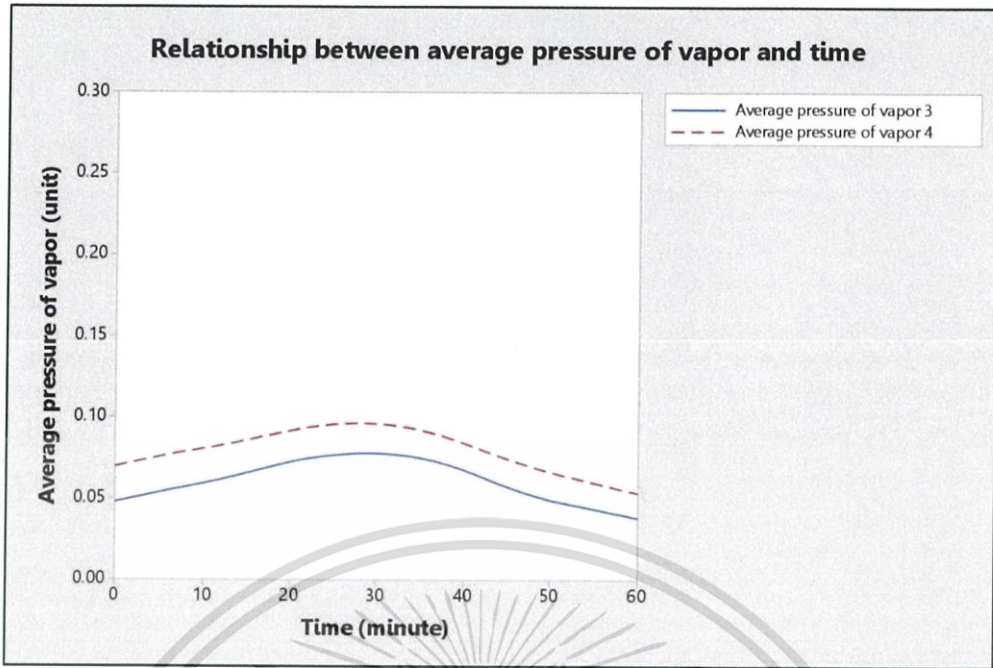


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.08 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำภายนอกและเมื่อดำเนินการทดลองค่าความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 20 นาทีก่อนจะลดลงจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.10 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำภายนอกและเมื่อดำเนินการทดลองค่าความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 20 นาทีก่อนจะลดลงจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

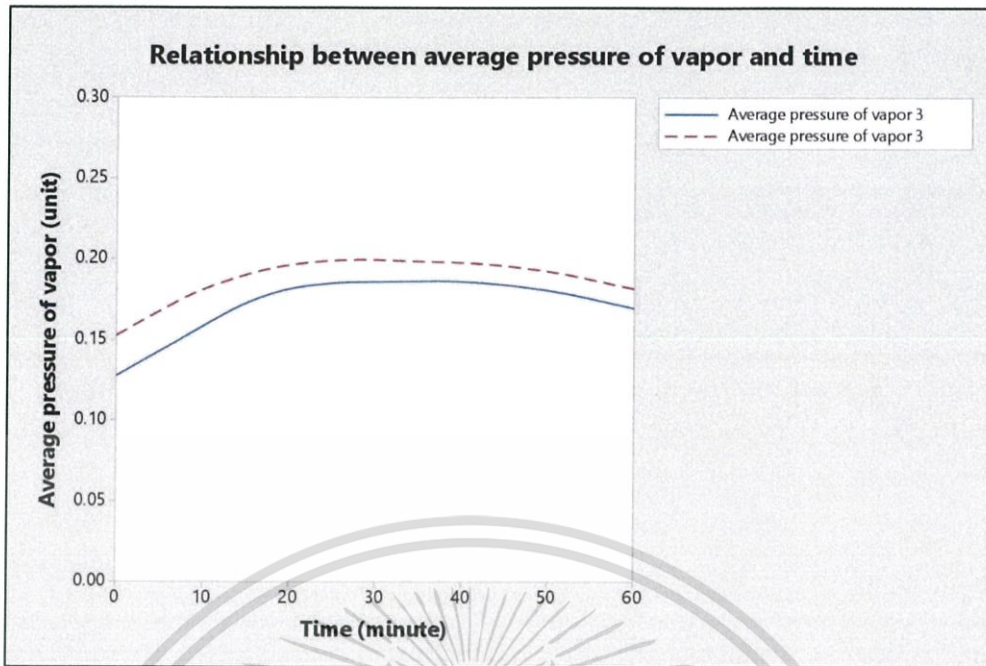


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.25 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.05 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 60 นาที ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำภายนอกและเมื่อดำเนินการทดลองค่าความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 30 นาทีก่อนจะลดลงจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.08 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 30 นาที ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำภายนอกและเมื่อดำเนินการทดลองค่าความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 30 นาทีก่อนจะลดลงจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

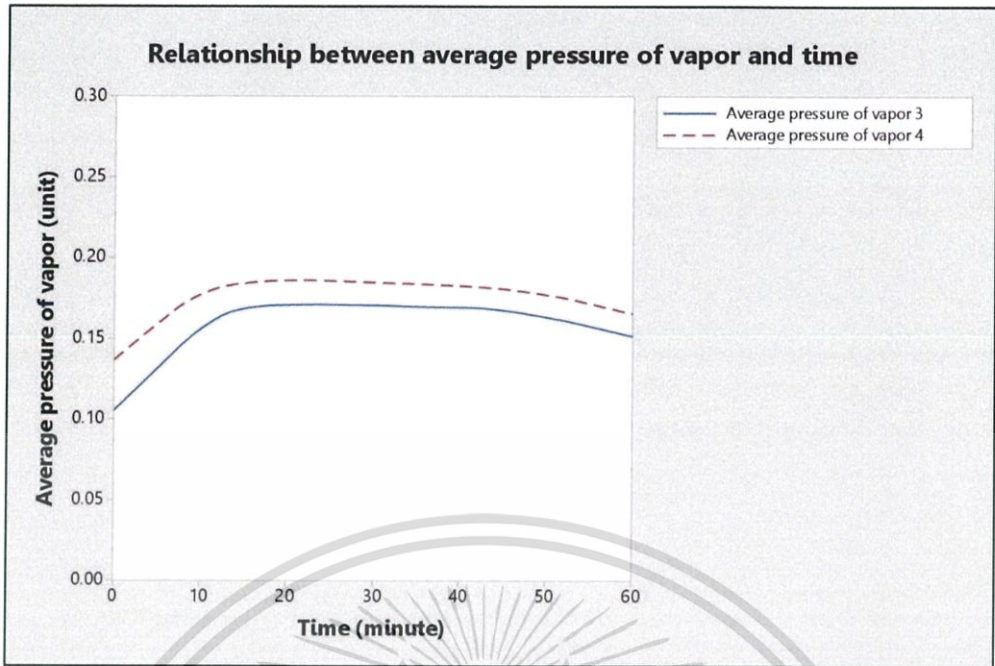


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.13 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงเวลา 40 นาทีและมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.15 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงเวลา 40 นาทีและมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

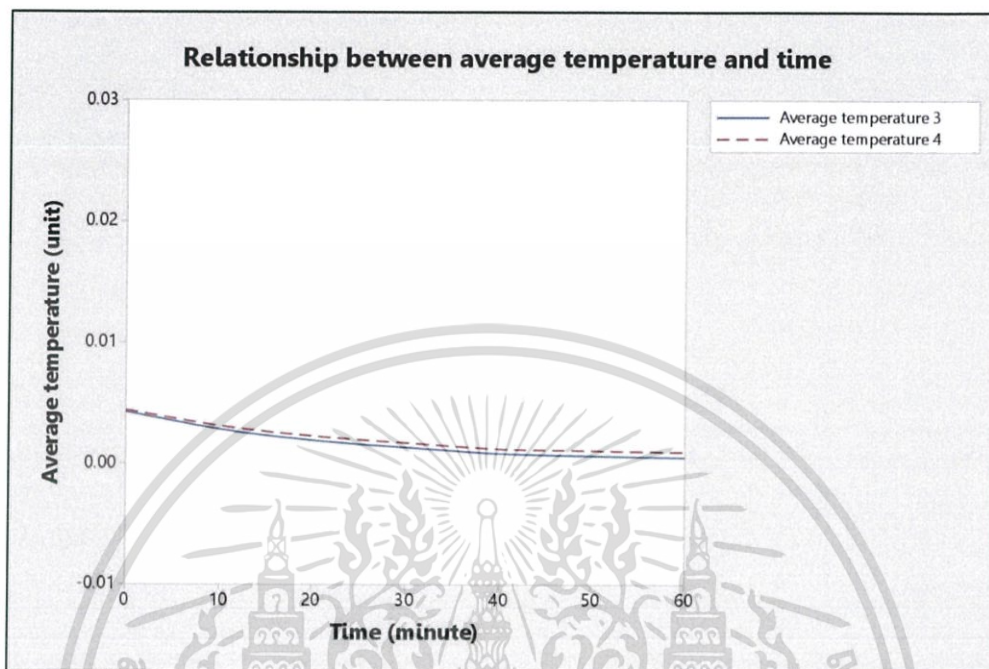
รูปที่ 4.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.10 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 10 นาที ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.14 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 10 นาที ก่อนจะมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอ้อมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอ้อมตัว

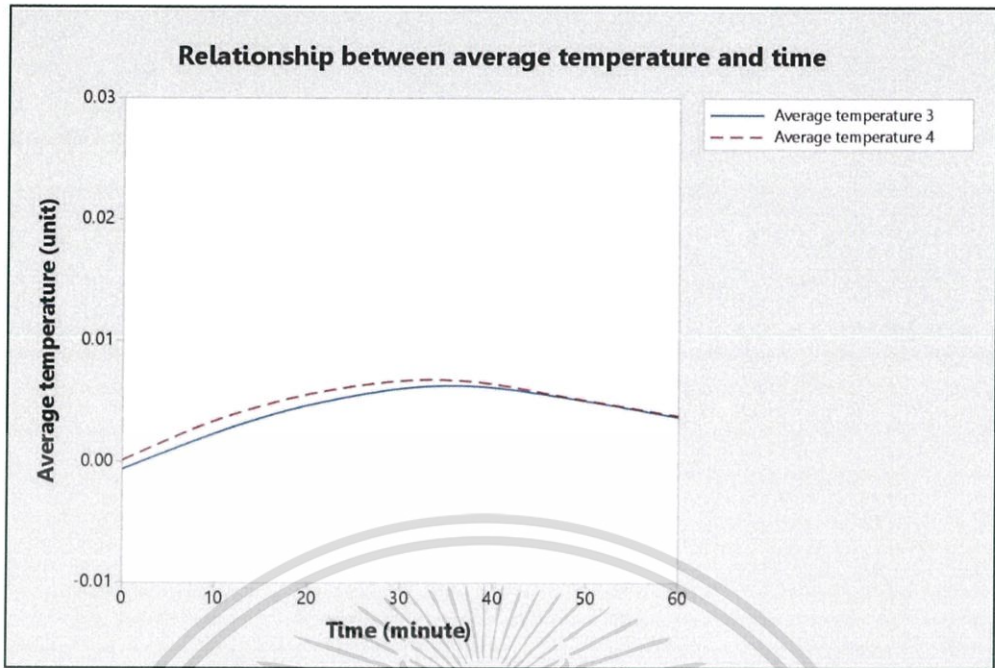
4.5.1.2 มีแผ่นสารดูดความชื้น

1. ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.28 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.005 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าต่ำกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย หรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุด กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.005 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อยหรือพูดได้ว่าอุณหภูมิจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกก่อนอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาสิ้นสุด โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับจุดที่ 3 อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจึงเกิดการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับ

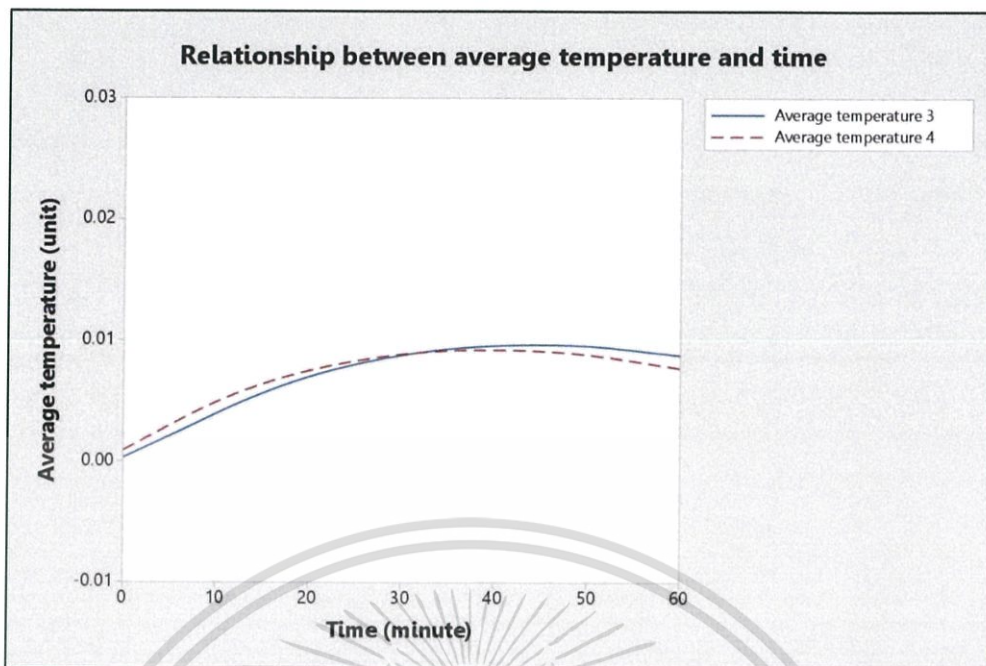


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 40 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 40 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับจุดที่ 3 ณ จุดสิ้นสุดเวลา

อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็งปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 1 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับจนอุณหภูมิของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

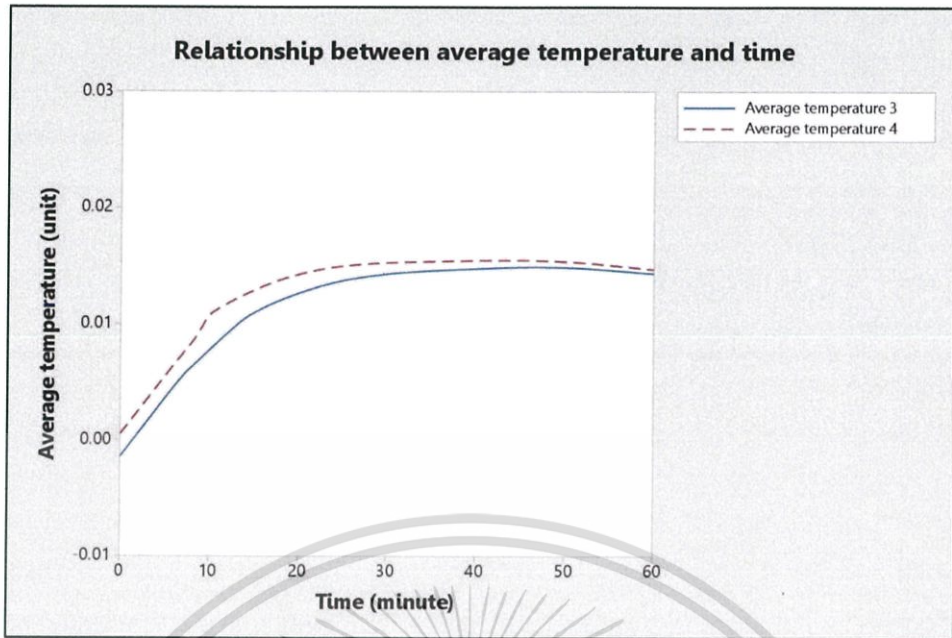


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 30 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 30 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดใกล้เคียงกับจุดที่ 3 ณ จุดสิ้นสุดเวลา

อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็งปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 2 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับจนอุณหภูมิของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

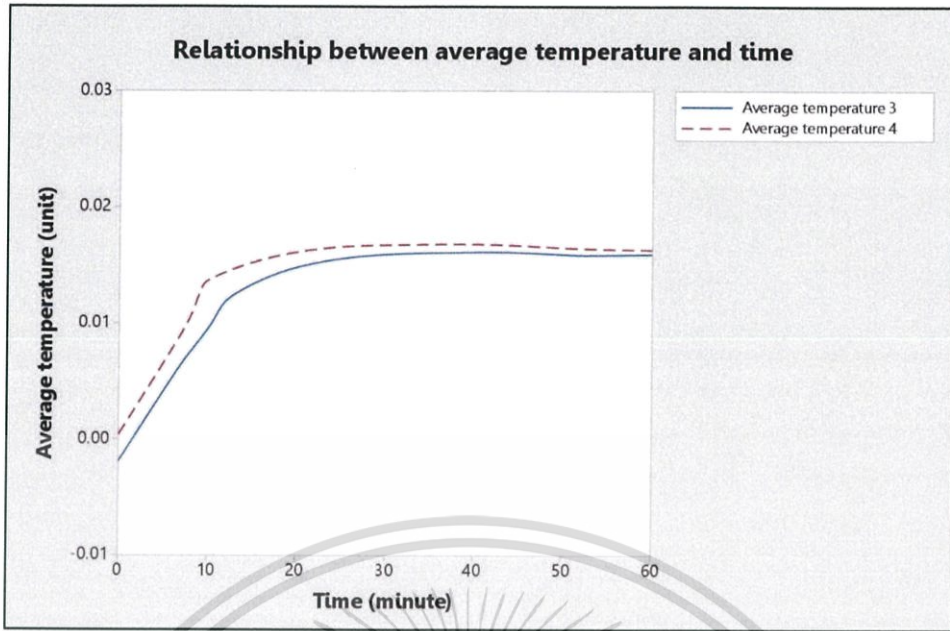


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงเล็กน้อยหรือประมาณได้ว่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงเล็กน้อยหรือประมาณได้ว่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับจุดที่ 3 ณ จุดสิ้นสุดเวลา

อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็งปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 3 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลาหนึ่งก่อนจะลดลงเพียงเล็กน้อยจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับที่ลดลงเพราะอุณหภูมิกายในอุปกรณ์เปลี่ยนความร้อนกับภาชนะรองรับมีค่าเท่ากันและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาวะภายนอกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย



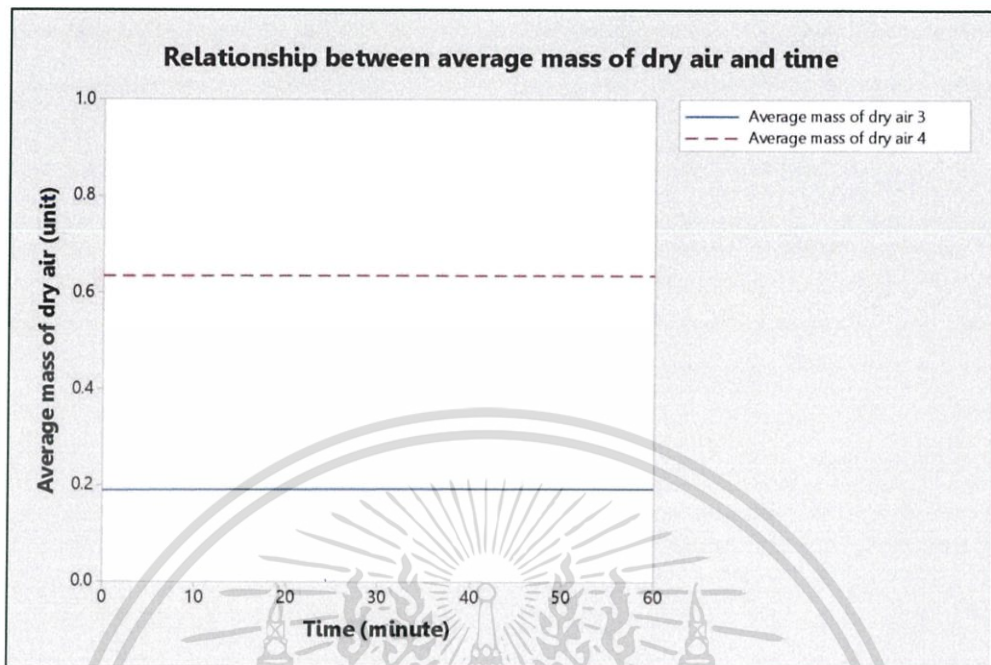
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.32 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 10 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงเล็กน้อยหรือประมาณได้ว่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น

กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 10 นาทีแล้วจึงค่อย ๆ ต่ำลงเล็กน้อยหรือประมาณได้ว่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลโดยค่า ณ จุดเวลาสิ้นสุดมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย โดยอุณหภูมิจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับจุดที่ 3 ณ จุดสิ้นสุดเวลา

อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการละลายตัวของน้ำแข็งปริมาตร 600 มิลลิลิตรจำนวน 4 หน่วยจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อย ๆ ต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเวลาหนึ่งก่อนจะลดลงเพียงเล็กน้อยจากการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งละลายผสมกับอุณหภูมิของน้ำปกติในภาชนะรองรับที่ลดลงเพราะอุณหภูมิกายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับภาชนะรองรับมีค่าเท่ากันและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาวะภายนอกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

2. ผลของมวลอากาศแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



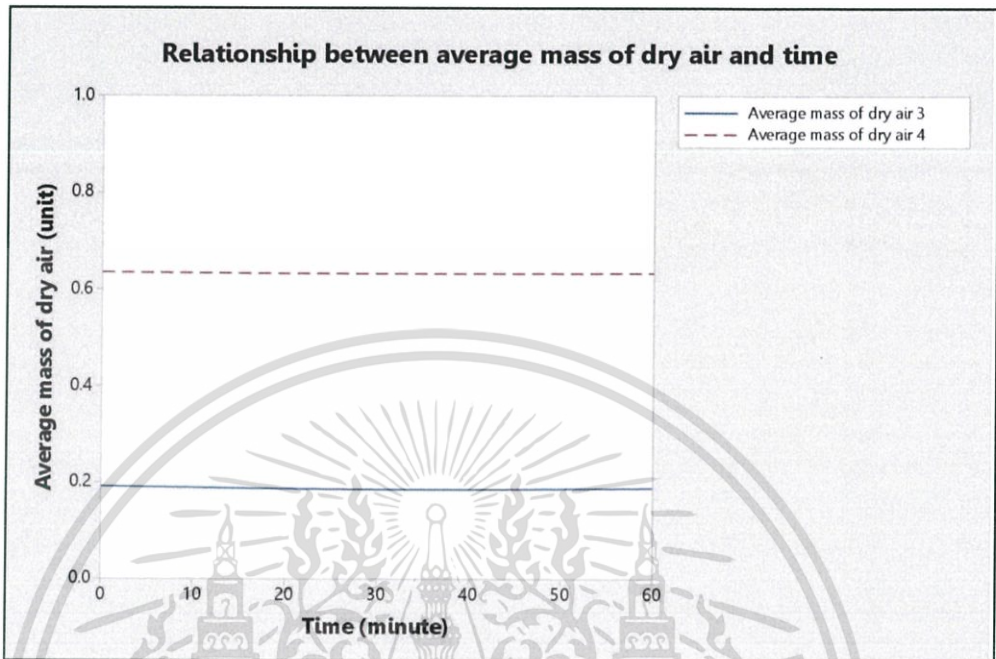
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.33 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้

ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



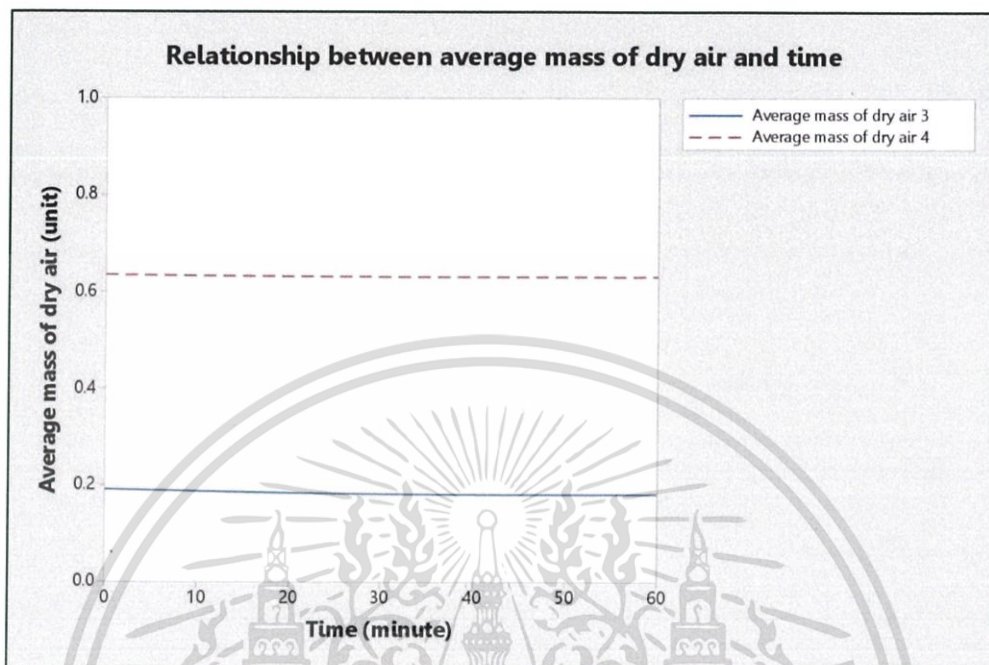
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.34 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้

ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



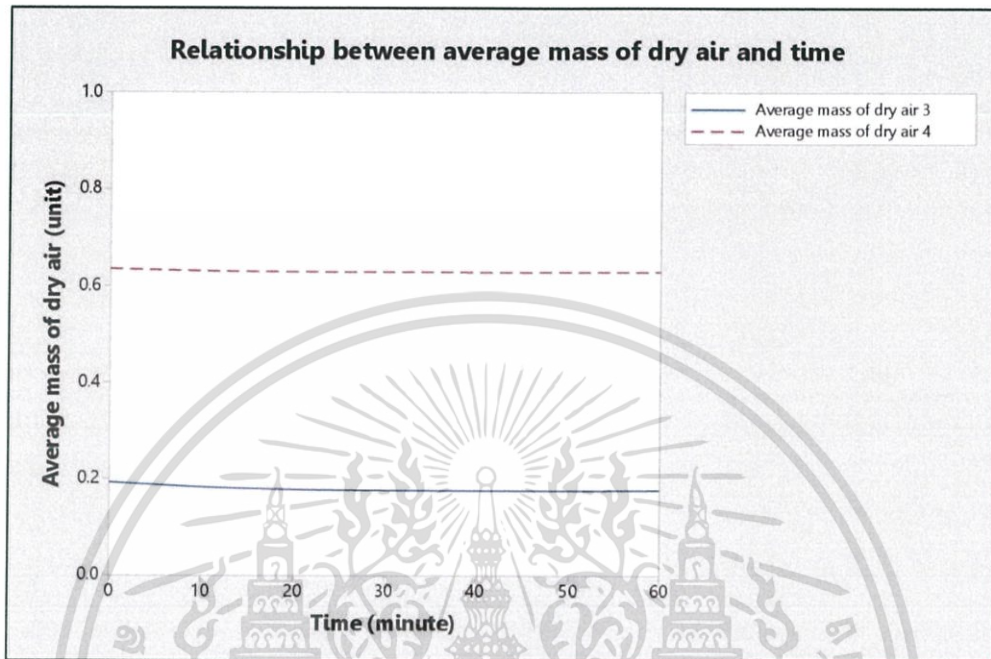
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.35 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่ง

สามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

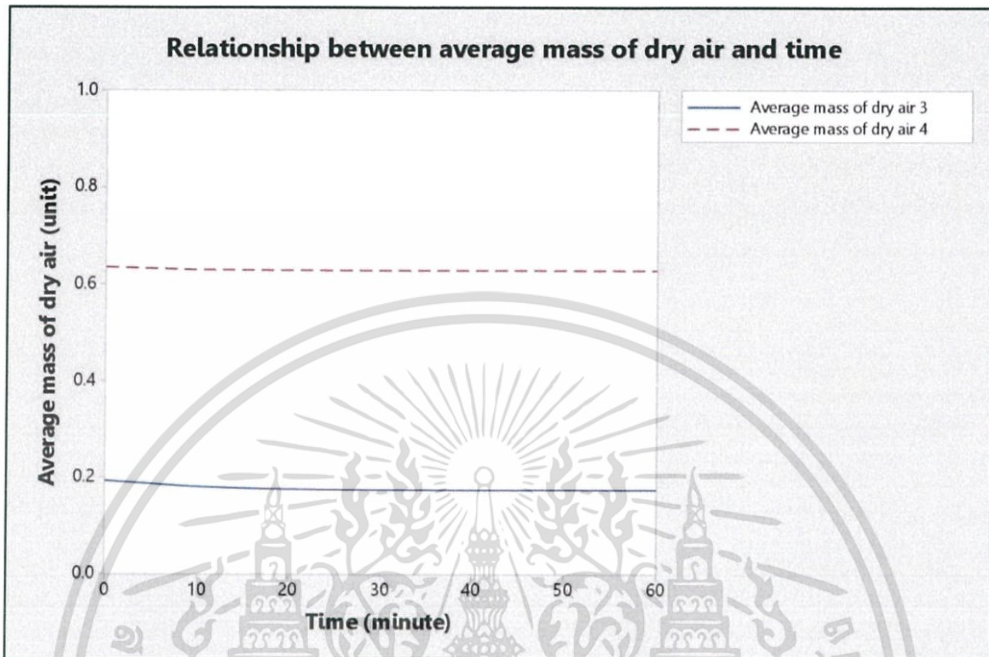
รูปที่ 4.36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล 97 อย่างไรก็ตามอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผนสารดูความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

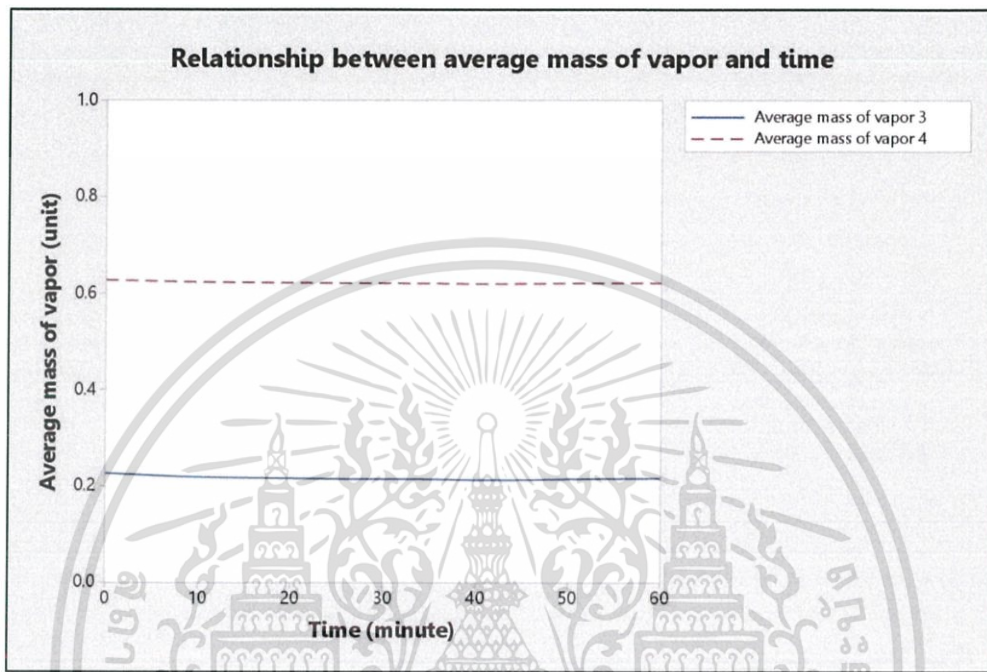
รูปที่ 4.37 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลอากาศแห้งมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลของอากาศแห้งแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ โดยจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่ง

สามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลของอากาศแห้งได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลอากาศบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3

3. ผลของมวลไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



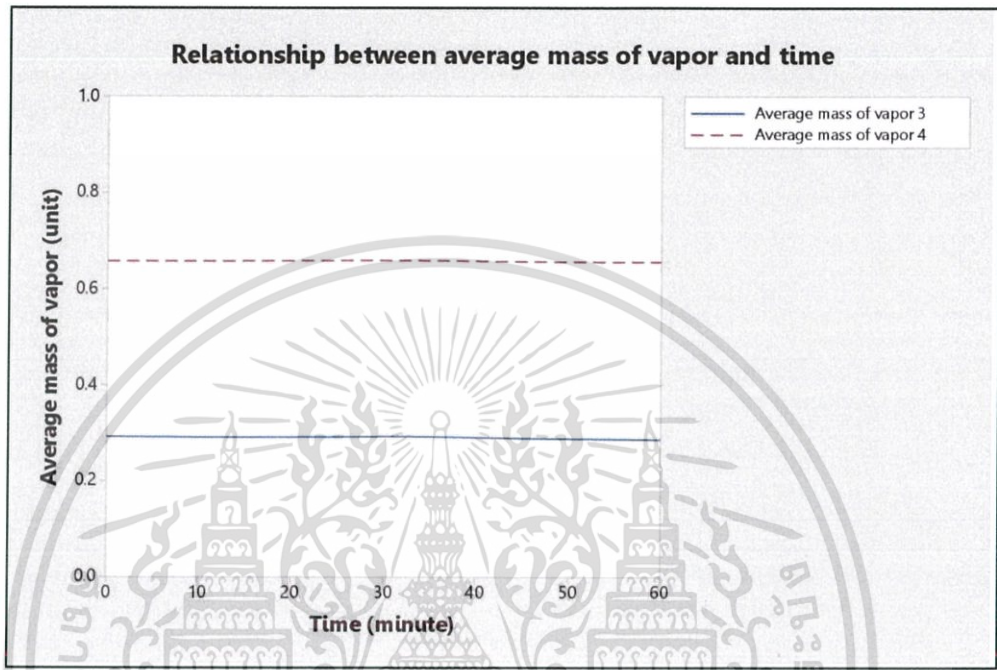
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.38 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเต็มจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 99 อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



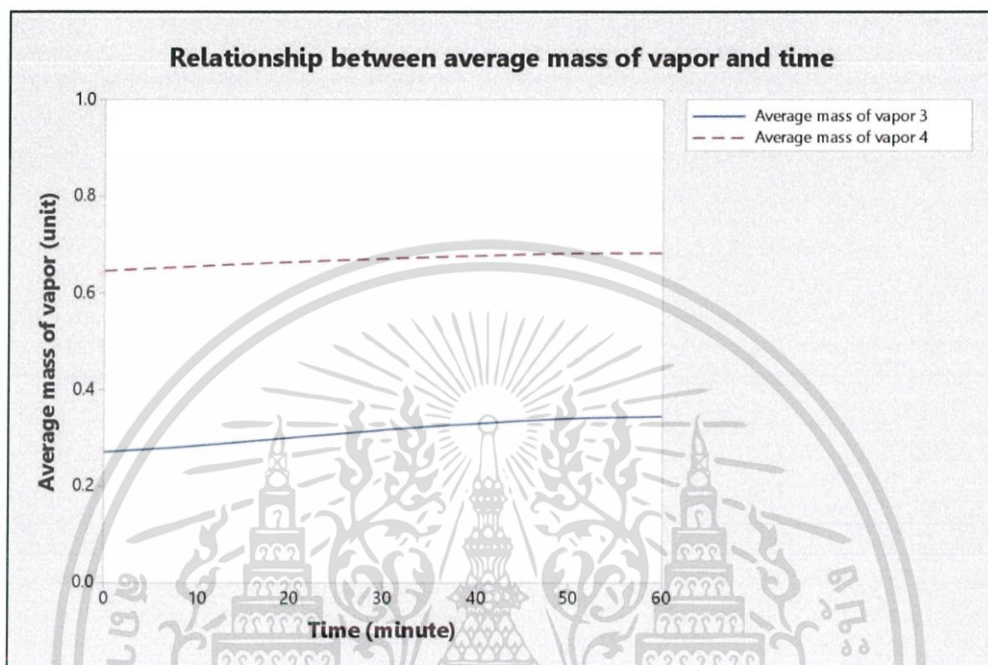
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.39 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลไอน้ำภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่จนจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่ามวลไอน้ำจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่ามวลอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล100.อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าจัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น ซึ่งตรงกับกราฟที่ได้แสดงว่าจุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าจุดที่ 3



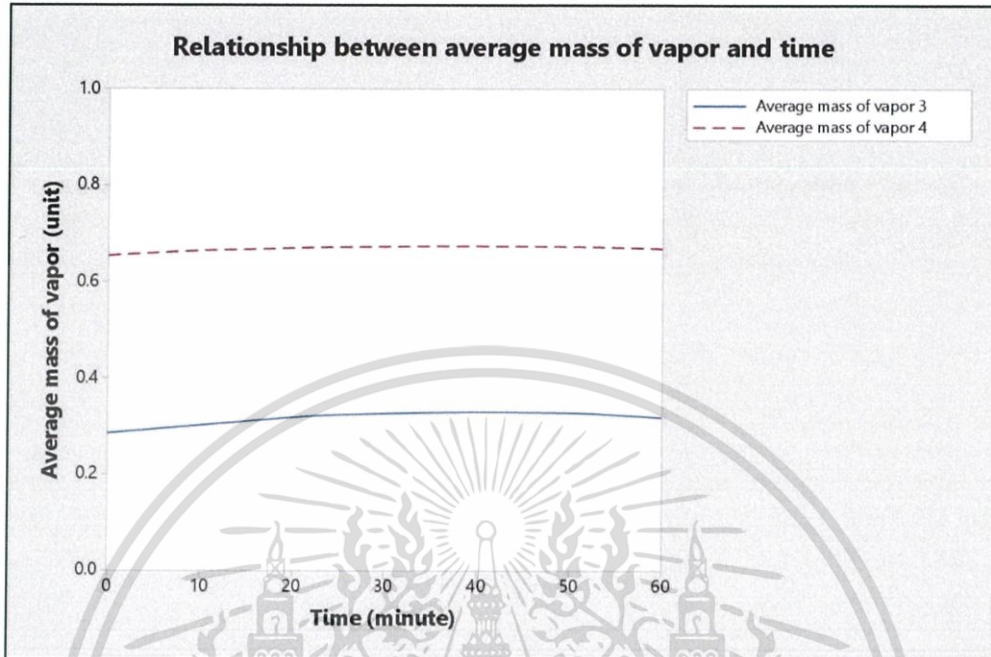
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.40 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.25 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าจัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออก

ท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น

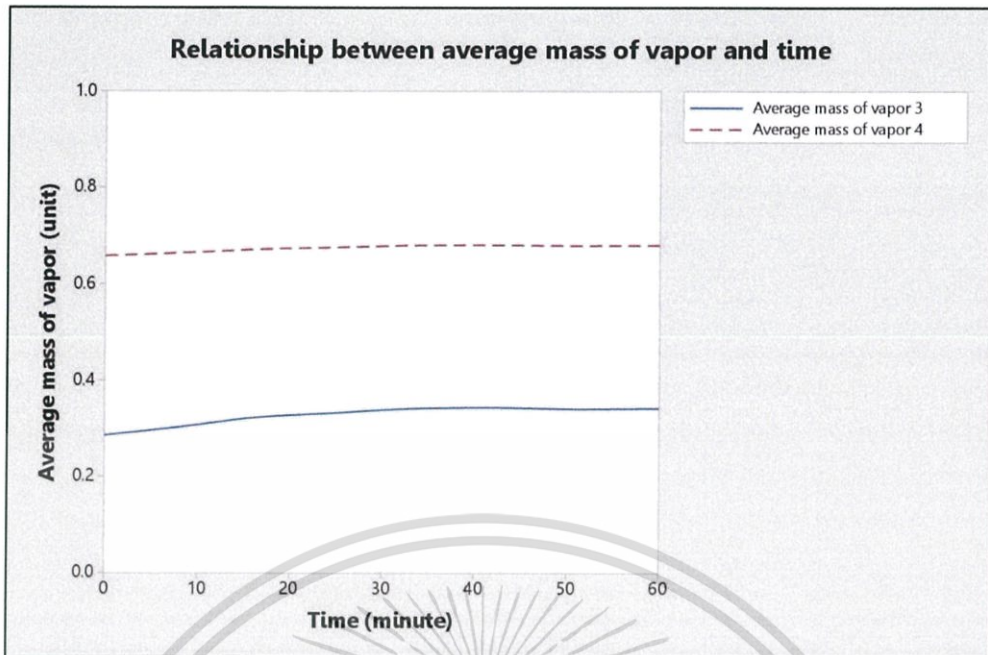


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.41 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.3 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น



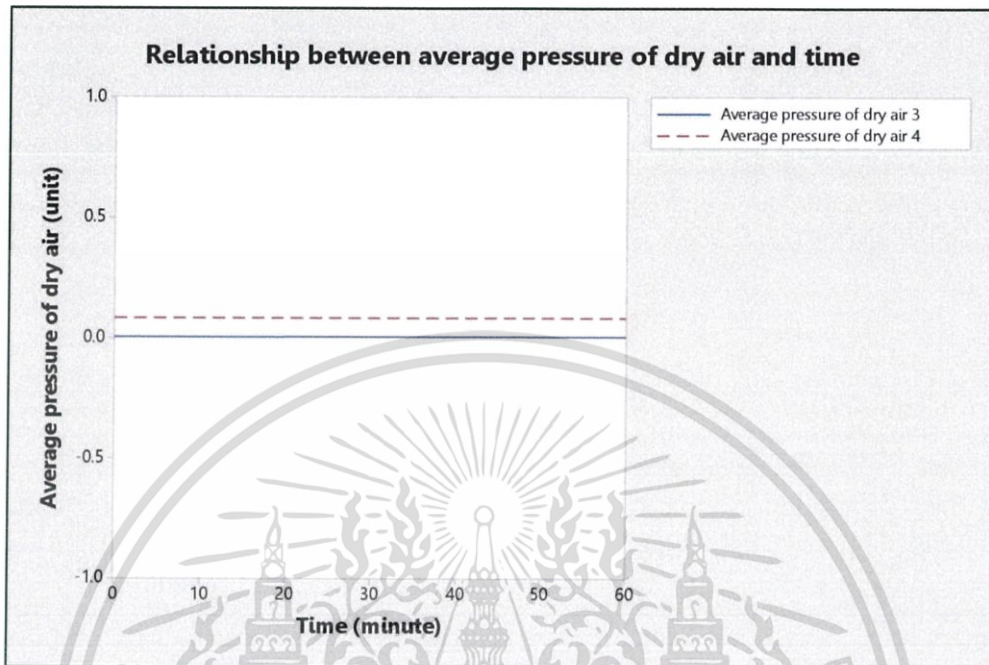
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.42 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.3 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของมวลไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีมวลไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.6 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากมวลไอน้ำแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^2 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0639 \text{ m}^3/\text{s}$ ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^2 และมีอัตราการไหลเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรของมวลไอน้ำได้เท่ากับ $0.0254 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลบริเวณทางออกน้อยกว่ามวลไอน้ำบริเวณจุดอื่น

4. ผลของความดันอากาศแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



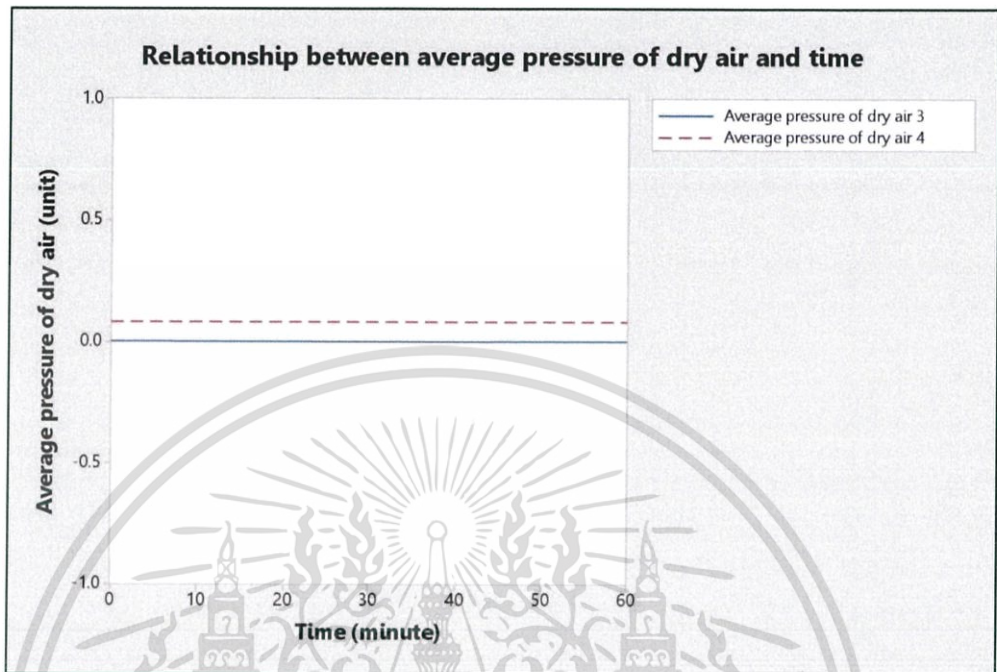
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.43 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวล

อากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย



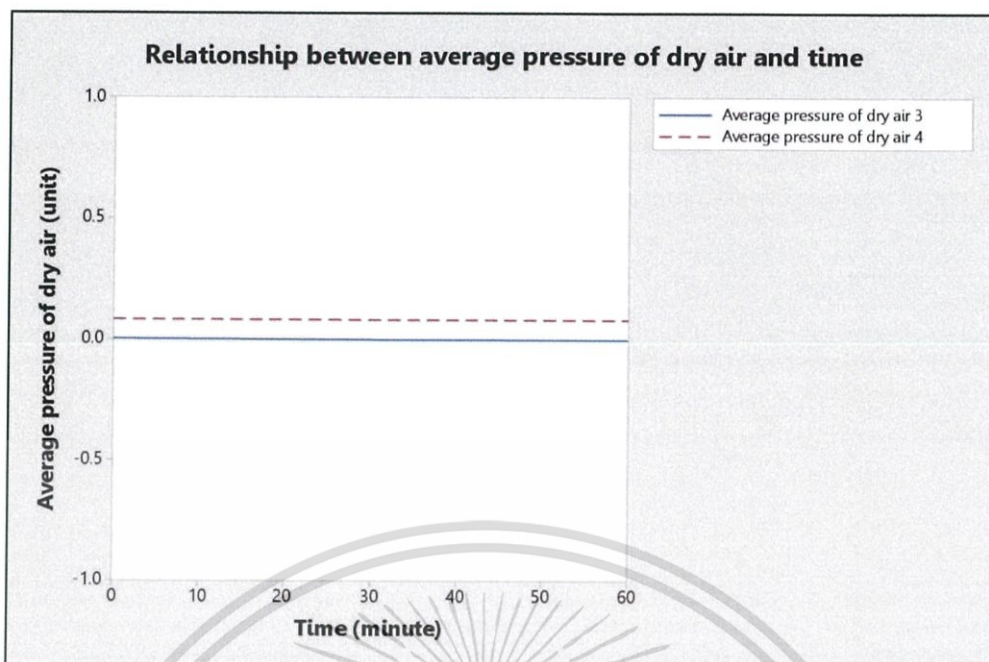
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.44 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ จากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล105อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

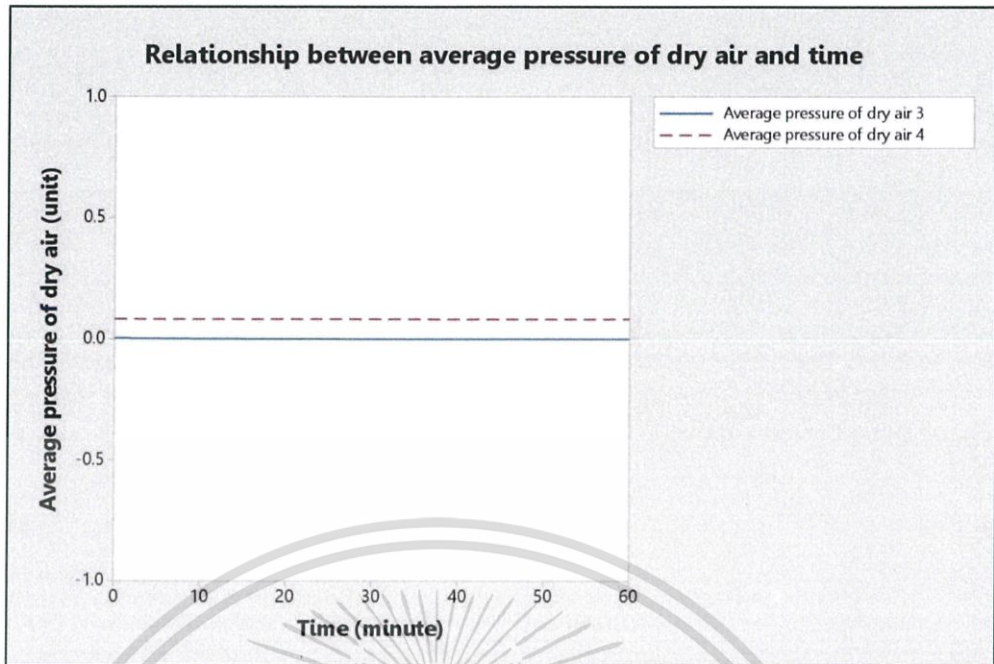


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย

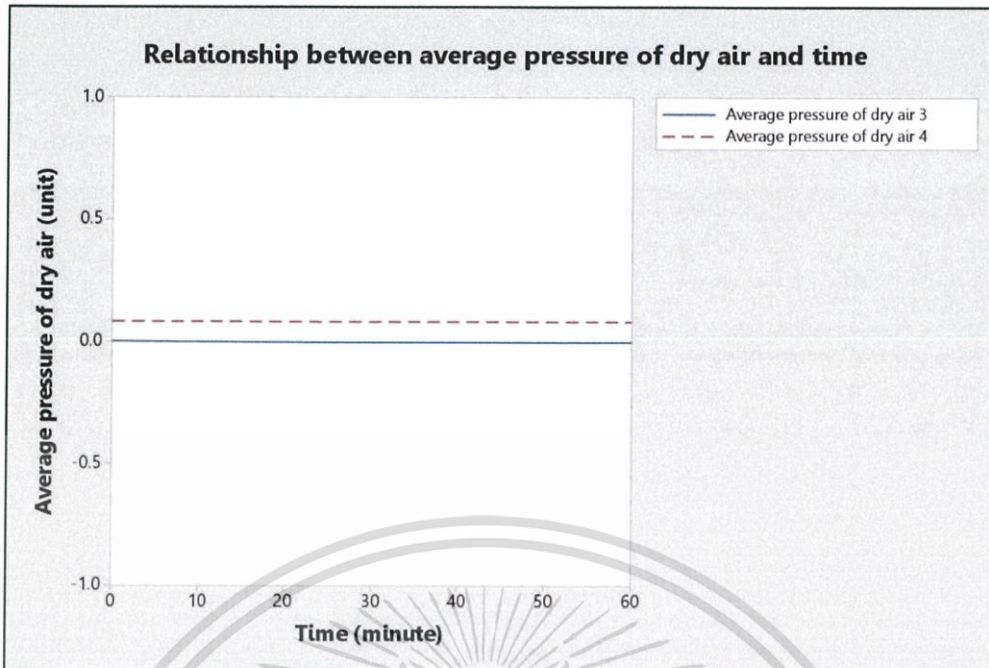


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.46 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซจากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย



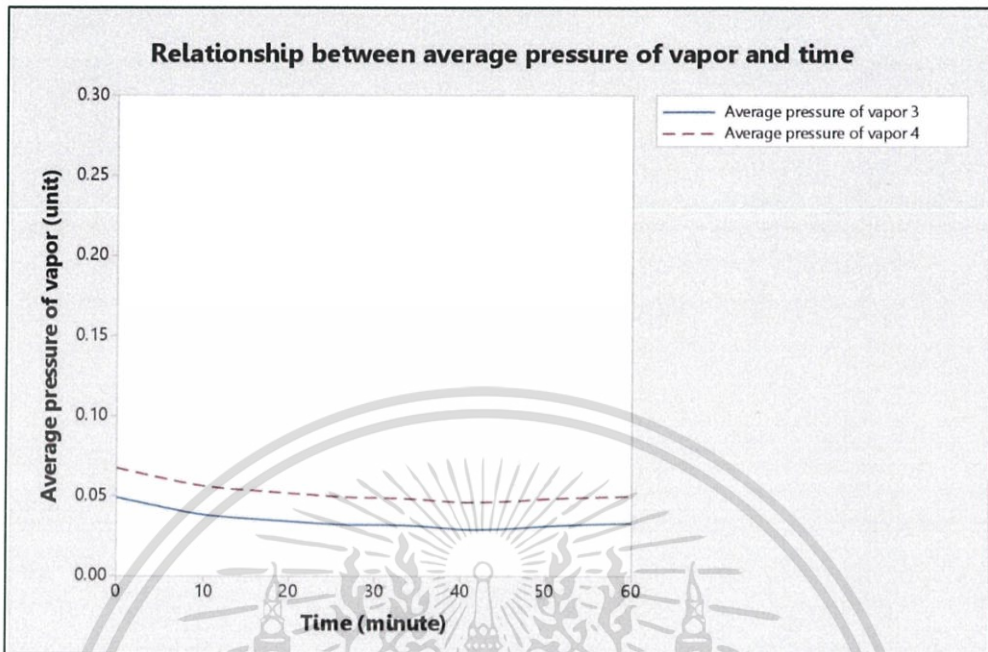
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.47 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศแห้งเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 3 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

กราฟความสัมพันธ์ของความดันอากาศแห้งเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันอากาศแห้งเฉลี่ยมีประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลหรือพูดได้ว่าความดันอากาศแห้งจุดที่ 4 ณ เวลาเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าความดันอากาศแห้งภายนอกในปริมาณเดิมจนถึงเวลาสิ้นสุด

เนื่องจากความดันอากาศแห้งแปรผันกับมวลของอากาศตามสมการทฤษฎีจลน์ของก๊าซ จากการทดลองมีพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าห้องควบคุมเท่ากับ 0.09 m^3 และมีความเร็วลมเท่า 0.71 m/s ในขณะที่บริเวณท้ายห้องทดลองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.01 m^3 และมีอัตราความเร็วลมเท่ากับ 2.54 m/s ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณทางออกท้ายห้องควบคุมมีปริมาตรน้อยกว่าบริเวณทางเข้าจึงส่งผลให้มวลอากาศบริเวณทางออกน้อยกว่าบริเวณจุดอื่น เมื่อมวลของอากาศบริเวณท้ายห้องควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลต่อความดันอากาศบริเวณนั้น ๆ ด้วย

5. ผลของความดันไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

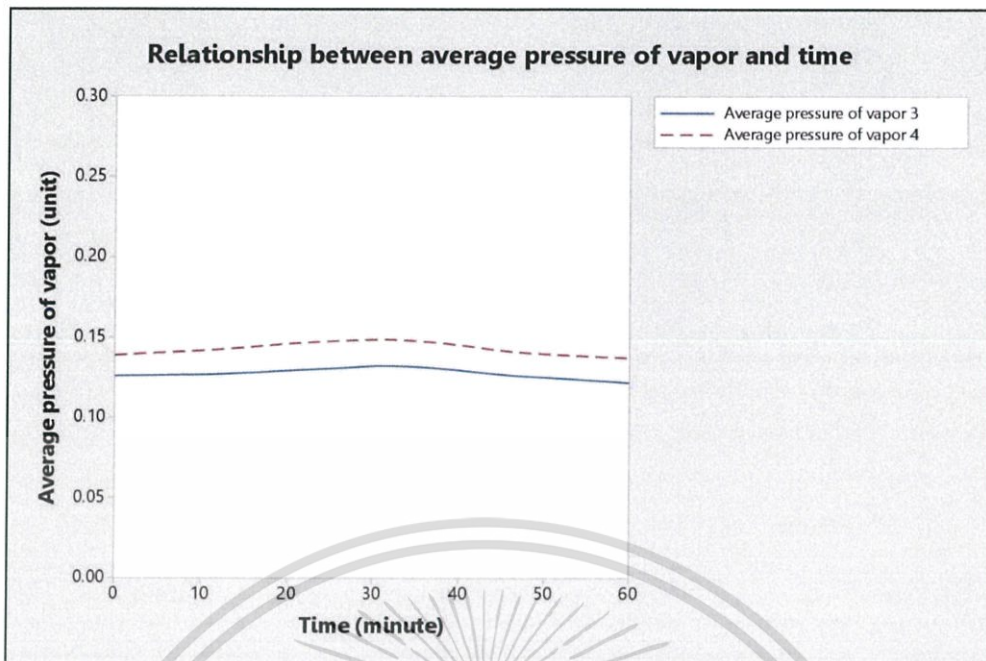


รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.48 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.05 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงจากจุดเริ่มต้นเล็กน้อย

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.06 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงจากจุดเริ่มต้นเล็กน้อย

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

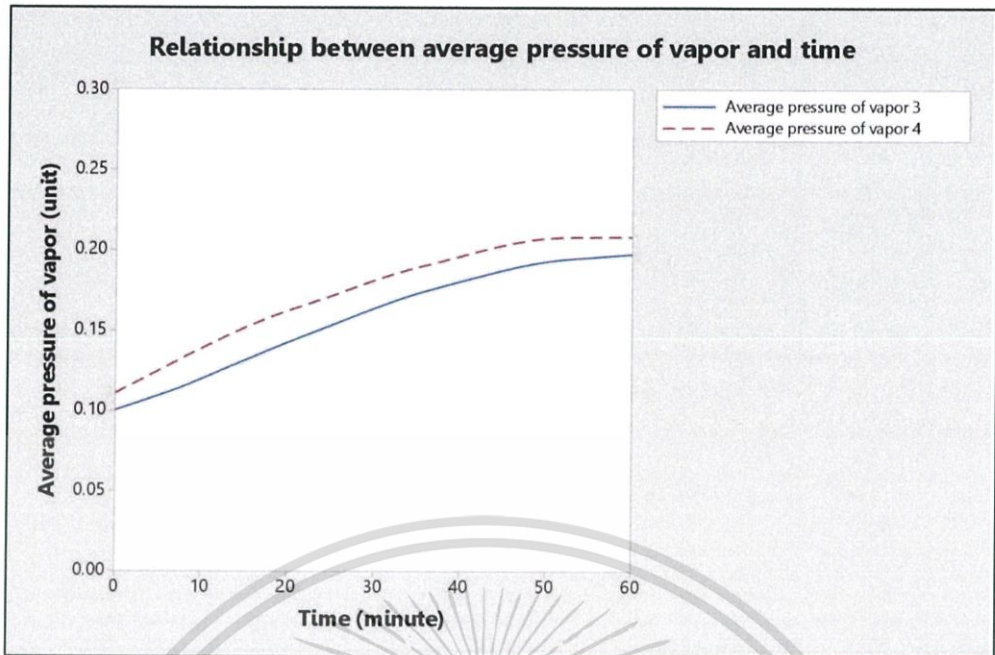


รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.49 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.13 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นเล็กน้อย

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.14 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.13 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นเล็กน้อย

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

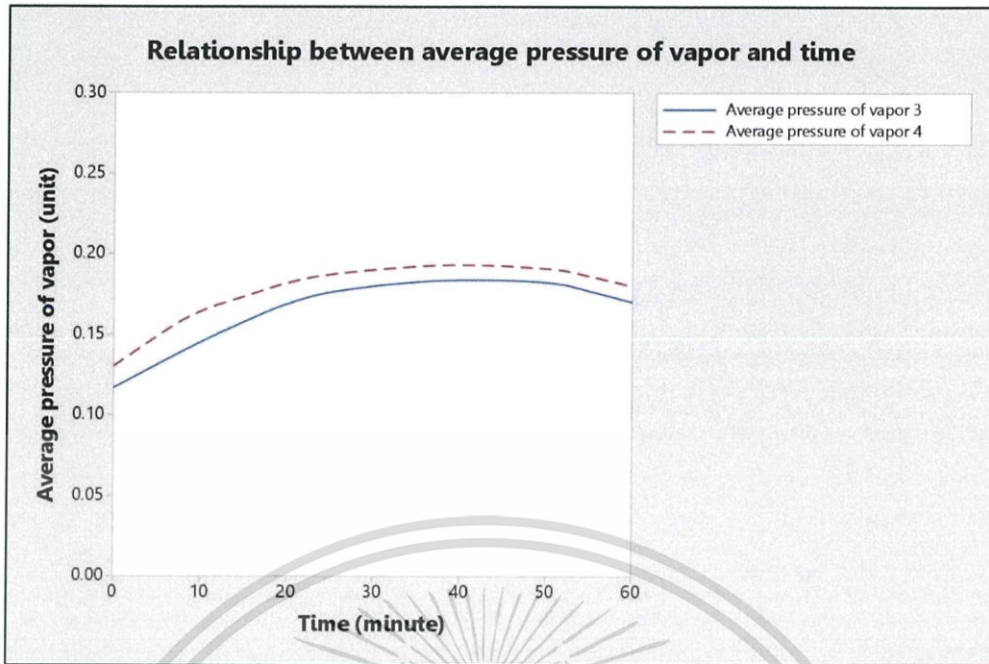


รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.50 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.10 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นค่อนข้างมากโดยมีระยะห่างประมาณ 0.06

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.11 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นค่อนข้างมากโดยมีระยะห่างประมาณ 0.06

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

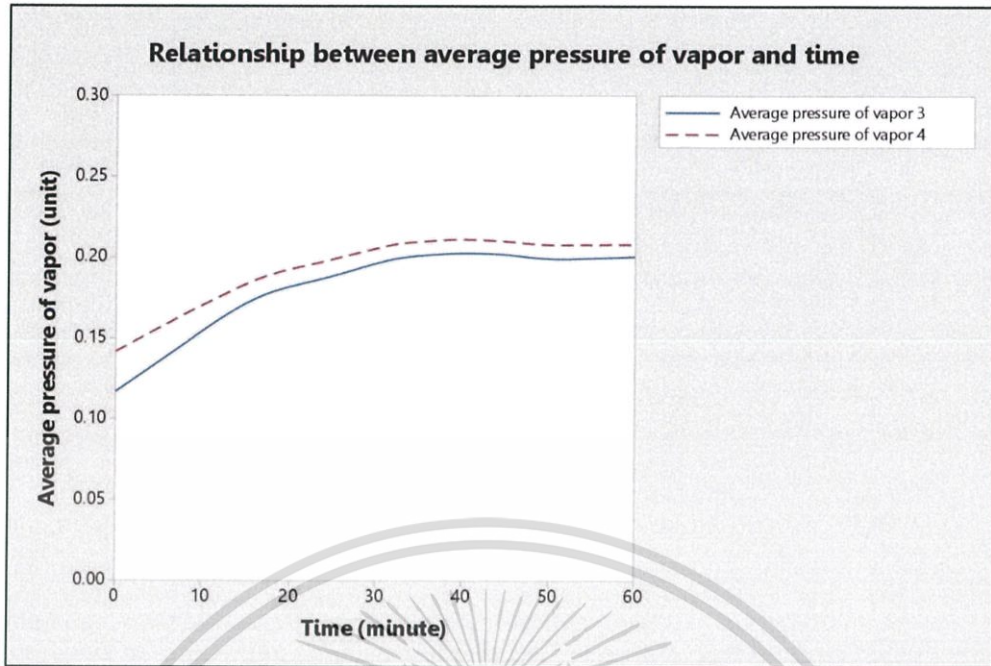


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.51 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอที่เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอเฉลี่ยมีประมาณ 0.12 ณ จุดเริ่มต้นเวลาและเมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 50 นาทีและค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นค่อนข้างมากโดยมีระยะห่างประมาณ 0.06

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอเฉลี่ยมีประมาณ 0.13 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 50 นาทีและค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นค่อนข้างมากโดยมีระยะห่างประมาณ 0.06

เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.52 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำเฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.11 ณ จุดเริ่มต้นเวลาและเมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างช้าลงจนถึงเวลาประมาณ 40 นาทีและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นค่อนข้างมากโดยมีระยะห่างประมาณ 0.07

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความดันไอน้ำเฉลี่ยมีประมาณ 0.13 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาประมาณ 20 นาที ก่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างช้าลงจนถึงเวลาประมาณ 40 นาทีและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูลและข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับจุดเริ่มต้นค่อนข้างมากโดยมีระยะห่างประมาณ 0.07

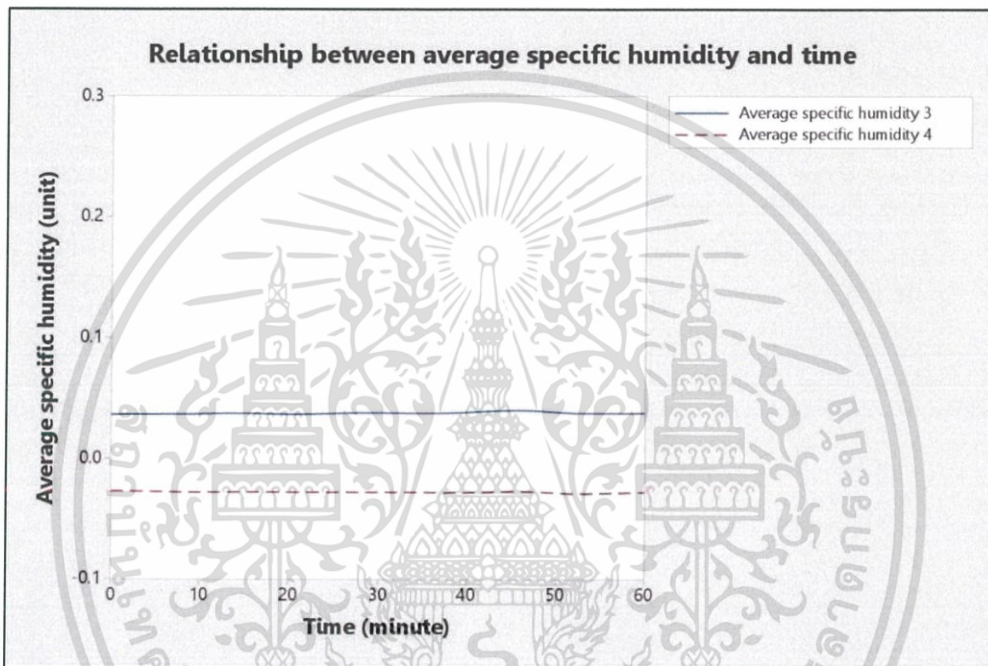
เนื่องจากความดันไอน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และความดันเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความดันเกจมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิมตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความดันเกจจะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิมตัว

4.5.2. ผลของแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

ผลการทดลองของแผ่นสารดูดความชื้นต่ออุณหภูมิและความชื้นจะถูกแสดงในรูปแบบของกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลการทดลองที่ได้จากการวัดจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในอุปกรณ์โดยข้อมูลต่าง ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก ที่เกิดจากการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

4.5.2.1. ไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น

1. ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



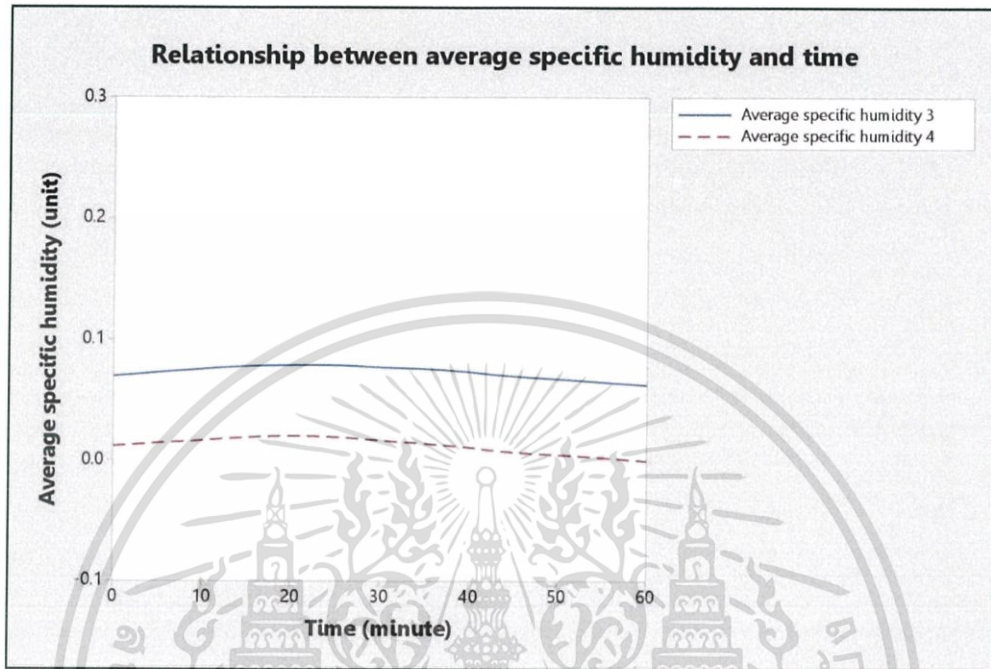
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.53 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.03 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนอาจประมาณได้กราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ - 0.02 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนอาจประมาณได้กราฟมีค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล 114 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

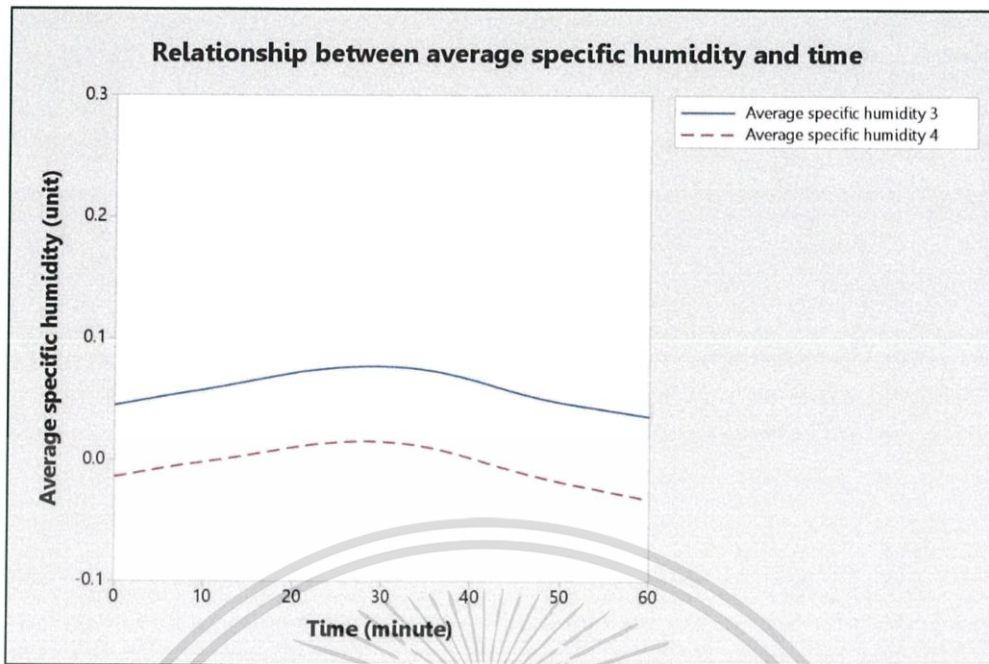


รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.54 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส โดยกราฟความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยระหว่างจุดที่ 3 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าต่ำกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลา

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.08 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าต่ำกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลา

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

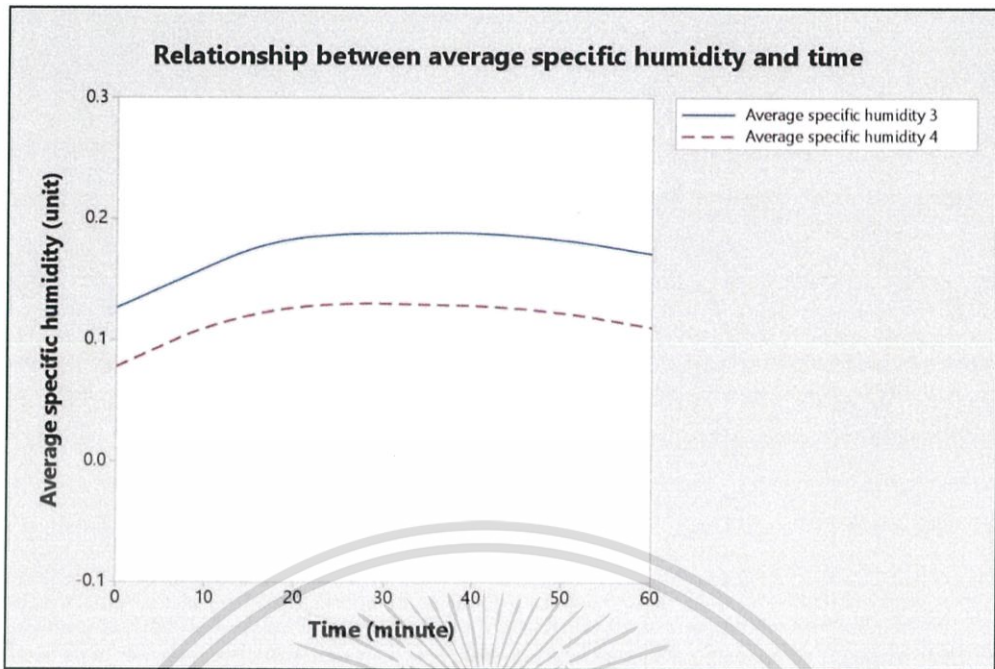


รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.55 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.04 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 30 นาทีและค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าต่ำกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาประมาณ 0.03

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 30 นาทีและค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าต่ำกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาประมาณ 0.03

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

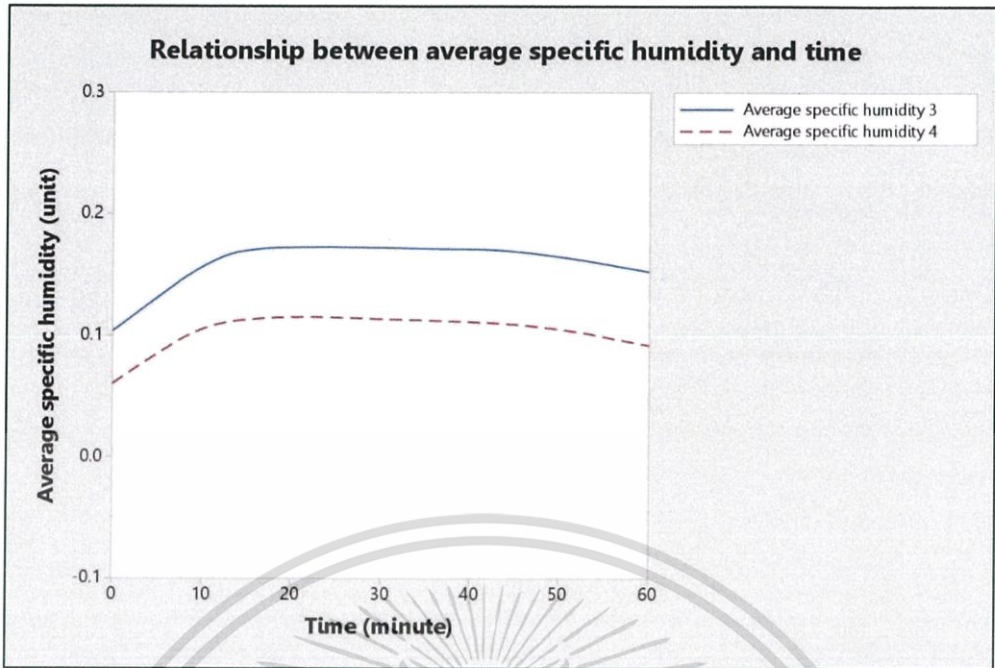


รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.56 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.08 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนถึงเวลาประมาณ 40 นาทีและค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าสูงกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาเล็กน้อย

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.12 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนถึงเวลาประมาณ 40 นาทีและค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าสูงกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาเล็กน้อย

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะเดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบไม่มีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

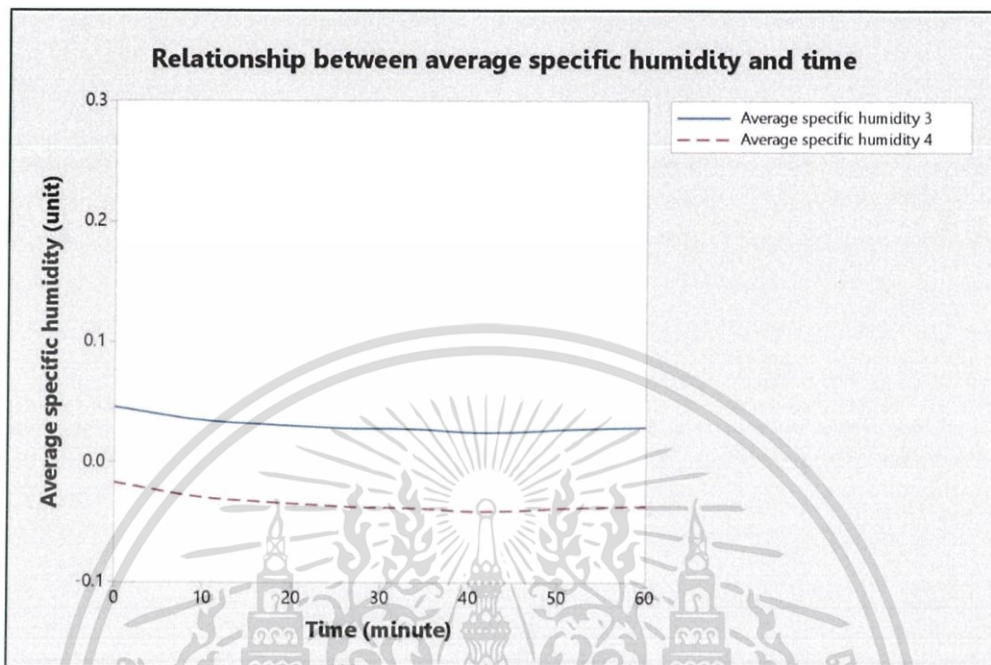
รูปที่ 4.57 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.07 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าสูงกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาเล็กน้อย

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.10 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าสูงกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาเล็กน้อย

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

4.5.2.2 มีแผ่นสารดูดความชื้น

1. ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

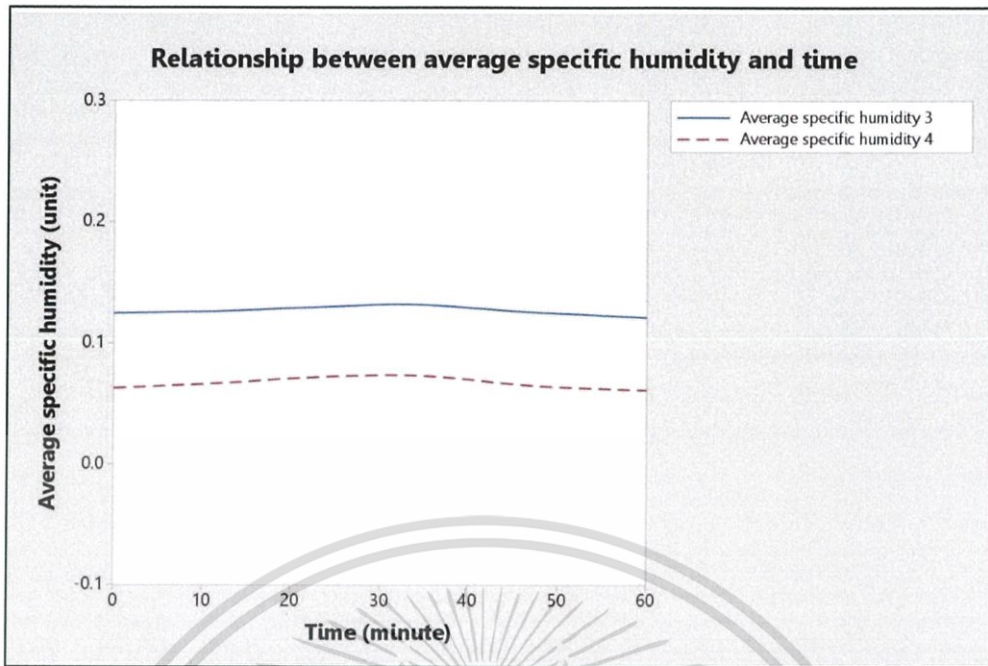


รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.58 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.00 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าต่ำกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาเล็กน้อย

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.04 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มลดลงทีละน้อยจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยกราฟ ณ จุดสิ้นสุดเวลามาค่าต่ำกว่า ณ จุดเริ่มต้นเวลาเล็กน้อย

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

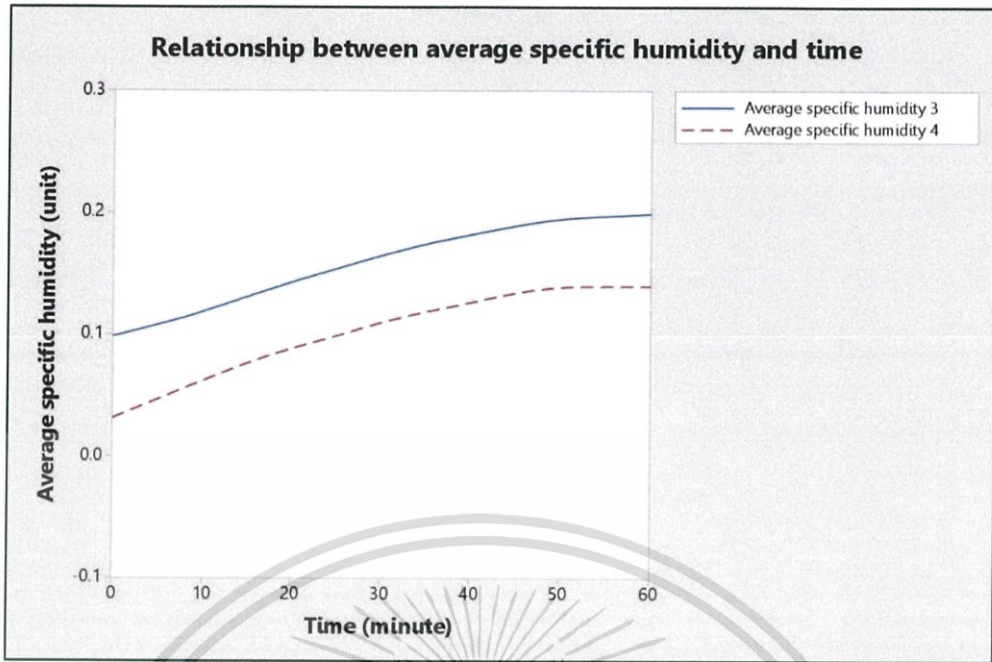


รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.59 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.06 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่าเป็นค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.04 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยหรืออาจจะประมาณได้ว่าเป็นค่าคงที่จนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกรักษาด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

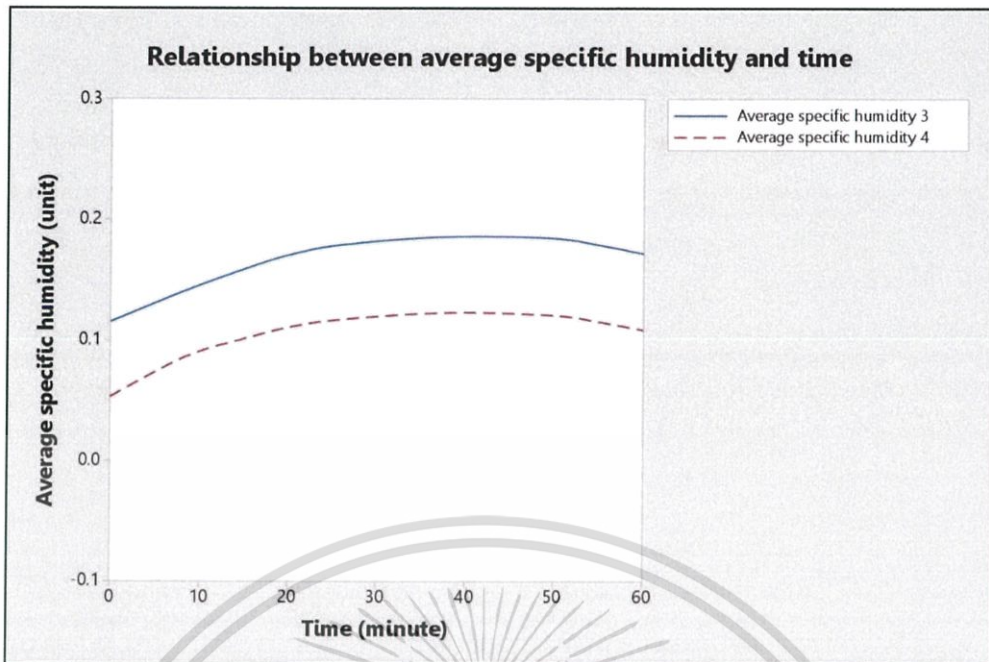


รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.60 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่าจะมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.06 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยข้อมูล ณ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดมีค่าต่างกันประมาณ 0.08

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่าจะมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.04 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยข้อมูล ณ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดมีค่าต่างกันประมาณ 0.08

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกรีดด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

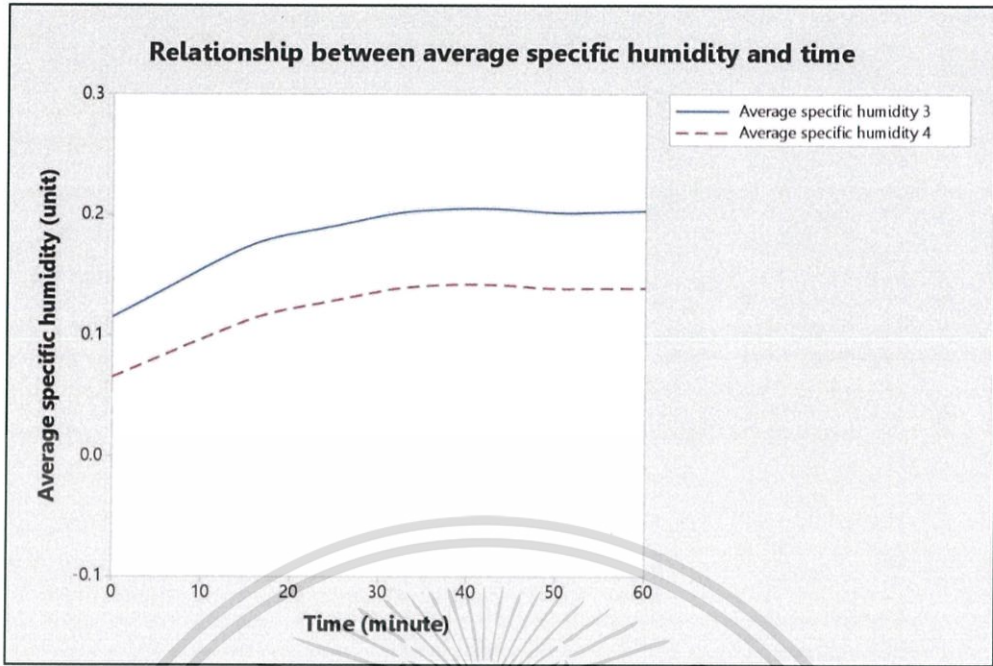


รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.61 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.06 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงนาทีที่ 50 จากนั้นกราฟค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.11 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงนาทีที่ 50 จากนั้นกราฟค่อย ๆ ลดลงจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกหารด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลา แบบมีแผ่นสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.62 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเวลา เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.11 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยข้อมูล ณ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดมีค่าต่างกันประมาณ 0.05

กราฟความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำเฉลี่ยระหว่างจุดที่ 4 ต่อเวลา ณ จุดเริ่มต้น กราฟสามารถประมาณได้ว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีประมาณ 0.08 เมื่อเวลาผ่านไปกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสุดสิ้นการเก็บข้อมูล โดยข้อมูล ณ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดมีค่าต่างกันประมาณ 0.05

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความดันไอน้ำและความดันอากาศแห้ง ดังนั้นเมื่อความดันอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับความดันไอน้ำอิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันตามสมการความชื้นสัมพัทธ์จะถูกรีดด้วยความดันอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์จึงแปรผกผันกับความดันอากาศแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการวิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหยโดยการใช้อย่างสมการเทอร์โมไดนามิกส์โดยโปรแกรม Microsoft Excel การสรุปผลการดำเนินงานแบ่งเป็น สรุปผลการทดลองอุณหภูมิห้องที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น และสรุปผลการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น มีดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลองอุณหภูมิห้องที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

การทดลองอุณหภูมิห้องที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น กำหนดการทดลองอุณหภูมิห้องในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28°C , 26°C , 25.5°C , 25°C และ 24.5°C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ $28 - 30^{\circ}\text{C}$ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่ออุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการทดลองผลของอุณหภูมิห้องที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น สมการเทอร์โมไดนามิกส์สามารถพยากรณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องควบคุมได้
2. จากการทดลองผลของอุณหภูมิห้องที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น สมการเทอร์โมไดนามิกส์สามารถอธิบายหลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระเหยได้
3. อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องควบคุม
4. อุณหภูมิของน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เปลี่ยนไปมีผลต่อตัวแปรต่าง ๆ คือ อุณหภูมิภายในห้องควบคุม มวลไอน้ำ ความดันไอน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์
5. อุณหภูมิห้องในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลต่อประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย
6. อุณหภูมิของห้องควบคุมที่ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก 5°C มี 1 กรณีคือกรณีการทดลองที่ใส่แผ่นสารดูดความชื้นและอุณหภูมิห้องในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 24.5°C

5.2 สรุปผลการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่อความชื้น

การทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น กำหนดการทดลองอุณหภูมิห้องในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 28°C , 26°C , 25.5°C , 25°C และ 24.5°C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ $28 - 30^{\circ}\text{C}$ และใช้สารดูดความชื้นคือซิลิกาเจลชนิดเม็ดขนาด 2-5 มิลลิเมตร เพื่อหาประสิทธิภาพของแผ่นสารดูดความชื้นต่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเที่ยงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จากการทดลองผลของแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่อความชื้น แผ่นสารดูดความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น
2. แผ่นสารดูดความชื้นส่งผลต่อตัวแปรต่าง ๆ ในการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ เพียงเล็กน้อย
3. แผ่นสารดูดความชื้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบระเหย

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นข้อเสนอแนะการทดลองอุณหภูมิน้ำที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น ส่วนที่สองเป็นการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่อความชื้น

5.3.1 ข้อเสนอแนะการทดลองอุณหภูมิน้ำที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

1. ในการศึกษาต่อไปเพื่อพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถสร้างความเย็นได้มากกว่าเดิมและสามารถนำมาประยุกต์ได้จริงอีกทั้งแก้จุดบกพร่องจากการศึกษานี้ คือการออกแบบห้องลดอุณหภูมิและความชื้นและห้องควบคุมให้มีฉนวนความร้อนทุกทิศทางและลดพื้นที่ที่สัมผัสกับอุณหภูมิภายนอก
2. บริเวณช่องทางออกท้ายห้องควบคุม หากสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของช่องทางออกอาจส่งผลให้ได้ค่าที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. จากการทดลองเมื่ออุณหภูมิน้ำต่ำลงจะส่งผลต่อให้เกิดการควบแน่นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงควรมีช่องระบายน้ำที่เกิดจากการควบแน่นเพื่อลดความผิดพลาดในการวัด
4. จากการทดลองพัดลมจะเกิดการทำงานตลอดเวลาซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจากการทดลอง หากพัดลมสามารถปิด-เปิดอัตโนมัติเมื่อจำเป็นต้องใช้งานอาจจะลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ได้
5. หากต้องการศึกษาเพิ่มเติมควรศึกษาตัวแปรอุณหภูมิน้ำให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น และใช้อุปกรณ์ที่สามารถทำความเย็นให้น้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าคงที่มากยิ่งขึ้น
6. การทดลองควรเลือกใช้ห้องที่มีอุณหภูมิกว้าง เพื่อลดความผลกระทบท่อตัวแปรที่ต้องการศึกษาและสะดวกต่อการดำเนินการทดลอง

5.3.2 ข้อเสนอแนะการทดลองแผ่นสารดูดความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

1. ในการศึกษาต่อไปเพื่อพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถลดความชื้นได้มากกว่าเดิมและสามารถนำมาประยุกต์ได้จริงอีกทั้งแก้จุดบกพร่องจากการศึกษานี้ คือ การออกแบบอุปกรณ์ในการบรรจุแผ่นสารดูดความชื้นให้มีความคงทน และสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของสารดูดความชื้นได้ง่าย

2. หากต้องการศึกษาเพิ่มเติมควรศึกษาชนิดของสารดูดความชื้นให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพและใช้การใช้งานซ้ำอย่างละเอียด

3. การทดลองควรเลือกใช้ปริมาณสารดูดความชื้นที่หลากหลาย เพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของสารดูดความชื้นแต่ละชนิด

4. การทดลองควรเลือกใช้ห้องที่มีอุณหภูมิคงที่ เพื่อลดความผลกระทบต่อตัวแปรที่ต้องการศึกษา และสะดวกต่อการดำเนินการทดลอง

5.4 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบปรับอากาศแบบ ระเหย

ในอนาคตอาจมีการออกแบบการติดตั้งแผ่นสารดูดความชื้นและศึกษาชนิดของสารดูดความชื้นประเภทต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้น ออกแบบขนาดทางเข้าและทางออกของอากาศขนาดต่างๆที่เหมาะสมต่ออุณหภูมิและความชื้นภายในชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ปรับปรุงโปรแกรมโดยเขียนโปรแกรมให้สามารถควบคุมการทำงานของพัดลมให้สามารถปิดหรือเปิดได้อัตโนมัติเมื่อสถานะภายในชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล และนำชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นทดสอบในสถานที่เปิดเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานจริงของชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาปรับปรุงและพัฒนาชุดควบคุมอุณหภูมิแล้วความชื้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, คู่มือการพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ เครื่องจักรและอุปกรณ์ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ. กรุงเทพฯ.
- [2] มนตรี พิรุณเกษตร, (2548). เทอโมไดนามิกส์ 2 [อุณหพลศาสตร์ 2] (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ. บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด.
- [3] C. C. Shen and C. Ainoworth, (1979). มาตรฐานการทำความเย็นแบบระเหย(evaporative cooling)กันเถอะ. วารสารวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ฉบับที่ 2 หน้าที่ 89–92.
- [4] พงษ์พิพัฒน์ ศิขันธ์, (2558). โรงเรือนระบบ Evap. กับการเลี้ยงสัตว์ในเขตร้อนชื้น. [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : www.evap-cooling.com/16807297/โรงเรือนระบบ-evap-กับการเลี้ยงสัตว์ในเขตร้อนชื้น.
- [5] อัศวรัตน์ เปรมใจ และนพพร พูลกระจ่าง, (2553). การหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] Department of Electrical and Computer Engineering (ECE) Faculty of Engineering KMUTNB, (2557). DHT22 / AM2302 Temperature & Relative Humidity Sensor. [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=dht22_am2302.
- [7] Department of Electrical and Computer Engineering (ECE) Faculty of Engineering KMUTNB, (2557). การวัดอุณหภูมิด้วยไอซี DS18B20 Digital Thermometer. [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=ds18b20-temperature-sensor.
- [8] Mindtek, (2557). ตรวจวัดอุณหภูมิ ด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ DS18B20. [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : www.mind-tek.net/ds18b20.php.
- [9] Bosch Sensortec, (2556). Data sheet BMP180 Digital pressure sensor BMP180. [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : 9arduino.nisit.net/datasheet/BST-BMP180-DS000-09.pdf
- [10] ABALLTECHNO, Digital Anemometer(เครื่องวัดความเร็วลม). [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : www.aballtechno.com/category/14/digitalanemometer%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0

- B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%A1.
- [11] e-mun,. (2558). เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer. [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์ : e-muni.com/2015/10/29/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%A7%E0%B8%A5/
- [12] สุรินทร์ คั่นใจ และ สุกฤษณา มงคล, (2560). ศักยภาพการลดความชื้นในระบบทำความเย็นแบบระเหยเพื่อใช้ในบ้านพักอาศัยด้วยฮีทไปป์. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [13] ประพนธ์ ชูประเสริฐ และเจริณพร เลิศสถิตชนกร, (2546). การศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับอากาศโรงเรือนเลี้ยงหนอนไหมด้วยการทำความเย็นแบบระเหย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [14] วิสิทธิ์ เอกวานิช จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ และ ปัญญารักษ์ งามศรีตระกูล, (2550). การศึกษาสมรรถนะการทำงานของสารดูดความชื้นแห้งสำหรับระบบระบายอากาศในอาคาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [15] ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล, (2552). ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [16] อติพงศ์ นันทพันธุ์ ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ ณัฐวดี ดุษฎี, (2552). การทดสอบสมรรถนะของชุดสารดูดความชื้นแบบถาดสำหรับกระบวนการอบแห้งลำไย. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [17] นินนาท ราชประดิษฐ์ จุฑาวัชร สุวรรณภาพ และ นฤพล สร้อยวัน, (2556). การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [18] ชาตรี เกียรติจรุณศิริ สุดาภรณ์ ฉิ่งลู่ พรรณจิรา ทิศวิภาต และ บัณฑิต ถิ่นมีโชคชัย, (2553). การลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นเพื่อการประหยัดพลังงาน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [19] ยอด สุขะมงคล, (2554). การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องปรับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนควบคู่กับการใช้ความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [20] Joseph Khedari Nuparb Yamtraipat Naris Pratintong and Jongjit Hirunlabh, (2543). Thailand ventilation vomfort chart. King Mongkut's UniOersity of Technology Thonburi.



โปรแกรมตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความดัน

```
#include "DHT.h"

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include <Adafruit_BMP085.h>

#include <Wire.h>

//#include<Adafruit_sensor.h>

#define TCAADDR 0x70

#define DHT1PIN 2

#define DHT1TYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)

#define DHT2PIN 3

#define DHT2TYPE DHT22

#define DHT3PIN 4

#define DHT3TYPE DHT22

#define DHT4PIN 5

#define DHT4TYPE DHT22

#define ONE_WIRE_BUS 6 //กำหนดขา

DHT dht1(DHT1PIN, DHT1TYPE);
```

```

DHT dht2(DHT2PIN, DHT2TYPE);

DHT dht3(DHT3PIN, DHT3TYPE);

DHT dht4(DHT4PIN, DHT4TYPE);

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

Adafruit_BMP085 bmp1;

Adafruit_BMP085 bmp2;

Adafruit_BMP085 bmp3;

Adafruit_BMP085 bmp4;

void tcselect(uint8_t i) {
if (i > 7) return;

Wire.beginTransmission(TCAADDR);

Wire.write(1 << i);

Wire.endTransmission();

}

void setup() {

Serial.begin(9600);

Serial.println("CLEARDATA");

Serial.print("LABEL,Time1 (sec),Humidity1 (%),Temperature1 (C)");   Serial.print(",");

Serial.print("Humidity2 (%),Temperature2 (C)");   Serial.print(",");

```

```

Serial.print("Humidity3 (%),Temperature3 (C)");    Serial.print(",");

Serial.print("Humidity4 (%),Temperature4 (C)");    Serial.print(",");

Serial.print("Temperature5 (C)");        Serial.print(",");

Serial.print("PressureP1");        Serial.print(",");

Serial.print("PressureP2");        Serial.print(",");

Serial.print("PressureP3");        Serial.print(",");

Serial.println("PressureP4,");

dht1.begin();

dht2.begin();

dht3.begin();

dht4.begin();

sensors.begin();

Wire.begin();

tcselect(7);

bmp1.begin();

tcselect(6);

bmp2.begin();

tcselect(5);

```



```

bmp3.begin();

tcselect(4);

bmp4.begin();

if(!bmp1.begin()||!bmp2.begin()||!bmp3.begin()||!bmp4.begin())

{ Serial.println("Check your wiring!");

while(1); }

}

void loop() {

float h1 = dht1.readHumidity();

float t1 = dht1.readTemperature();

float h2 = dht2.readHumidity();

float t2 = dht2.readTemperature();

float h3 = dht3.readHumidity();

float t3 = dht3.readTemperature();

float h4 = dht4.readHumidity();

float t4 = dht4.readTemperature();

sensors.requestTemperatures();

Serial.print("DATA,");

```

```

if ( isnan(t1)&& isnan(h1) && isnan(t2) && isnan(h2)&& isnan(t3) && isnan(h3)&& isnan(t4)
&& isnan(h4) ) {

    Serial.println("Failed to read from DHT");

} else {

    Serial.print("TIME,"); Serial.print(h1); Serial.print(",");    Serial.print(t1); Serial.print(",");

    Serial.print(h2);Serial.print(",");    Serial.print(t2); Serial.print(",");

    Serial.print(h3); Serial.print(",");    Serial.print(t3);Serial.print(",");

    Serial.print(h4);Serial.print(",");    Serial.print(t4);Serial.print(",");

    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); Serial.print(",");

tcselect(7);

Serial.print(bmp1.readPressure()); Serial.print(",");

tcselect(6);

Serial.print(bmp2.readPressure()); Serial.print(",");

tcselect(5);

Serial.print(bmp3.readPressure()); Serial.print(",");

tcselect(4);

Serial.println(bmp4.readPressure());

}

delay (2000);

```