เครื่องอบฟ้าทะลายโจรประสิทธิภาพสูงด้วยพีทีเอฟอีร่วมกับอากาศหมุนเวียน

วิทยานิพนธ์
ของ
ภาสกร ทางดี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เครื่องอบฟ้าทะลายโจรประสิทธิภาพสูงด้วยพีทีเอฟอีร่วมกับอากาศหมุนเวียน

วิทยานิพนธ์

ของ

ภาสกร ทางดี

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

High Efficient Dryer for Andrographis Paniculata using PTFE with Revolutionary Air

Patsakorn Tangdee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

May 2022

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายภาสกร ทางดี แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. อดิเรก จันตะคุณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รศ. ดร. ชลธี โพธิ์ทอง)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. นวรัตน์ พิลาแดง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง เครื่องอบฟ้าทะลายโจรประสิทธิภาพสูงด้วยพีทีเอฟอีร่วมกับอากาศหมุนเวียน
ผู้วิจัย ภาสกร ทางดี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชลธี โพธิ์ทอง
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2565

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการทดลองการอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรโดยแบ่งออกเป็นเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี รวมไปถึงการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่มีระบบหมุนเวียนอากาศและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศของเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบ จากผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น โดยน้ำหนักเริ่มต้นก่อนการเข้าอบของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนัก 50 กรัม ทดสอบอบโดยใช้เครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกแบบไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศโดยทำการทดลองเป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง หลังจากการอบน้ำหนักสุดท้าย 42 และ 41 กรัม และทดสอบอบโดยใช้เครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกแบบมีระบบหมุนเวียนอากาศโดยทำการทดลองเป็นเวลา 1, 3 และ 6 ชั่วโมง หลังจากการอบน้ำหนักสุดท้าย 38, 34 และ 10 กรัม และทดสอบอบโดยใช้เครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีแบบไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศโดยทำการทดลองเป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง หลังจากการอบน้ำหนักสุดท้าย 44 และ 41 กรัม และทดสอบอบโดยใช้เครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีแบบมีระบบหมุนเวียนอากาศโดยทำการทดลองเป็นเวลา 1, 3 และ 6 ชั่วโมง หลังจากการอบน้ำหนักสุดท้าย 34, 24 และ 5 กรัม จากการทดลองสรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศเหมาะสมต่อการอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรโดยหลังจากทำการอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ค่าอุณหภูมิสูงสุด 50-55 องศาเซลเซียส น้ำหนักสุดท้าย 5 กรัม ซึ่งเป็นค่าความชื้นมาตรฐานคืออยู่ในช่วง 8-10 % มาตรฐานแห้ง และทำการวิเคราะห์ผลโดยนำฟ้าทะลายโจรอบแห้งน้ำหนัก 1.0053 กรัม ไปทดสอบด้วยวิธี TLC โดยใช้เครื่อง HPTLC เพื่อวัดค่าแอนโดรกราโฟไลด์ที่ห้องปฏิบัติการคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลที่ได้คือ 1.0717 W/W ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน

คำสำคัญ : เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร, พีทีเอฟอี, สมุนไพรฟ้าทะลายโจร

TITLE High Efficient Dryer for Andrographis Paniculata using PTFE with Revolutionary Air

AUTHOR Patsakorn Tangdee

ADVISORS Associate Professor Chonlatee Photong , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2022

ABSTRACT

This thesis presents an experimental drying of herbs called Andrographis paniculata to compare the efficiency of a drying machine of an Andrographis paniculata which can be divided into a dryer that uses a glass and a dryer that uses PTFE, and to compare the performance between the herb dryers with air circulation system and without air circulation system of the two dryers. From the experimental results by analyzing the temperature and humidity values, the initial weight before drying of Andrographis paniculata weighs 50 grams. Drying test was carried out using a glass drying machine without air circulation. The experiment was carried out for 1 and 3 hours. The final weight of drying the Andrographis paniculate are 42 and 41 grams respectively. Plus, Andrographis paniculata drying was tested using a glass drying machine with air circulation system for 1, 3 and 6 hours. The final weight of drying the Andrographis paniculate are 38, 34 and 10 grams respectively. And the drying test was carried out by using PTTFE without air circulation system for 1 and 3 hours. The final weight of drying the Andrographis paniculate are 44 and 41 grams respectively. Plus, the Andrographis paniculata drying test by using PTFE drying machine with air circulation system was tested for 1, 3 and 6 hours. The final weight drying the Andrographis paniculate are 34, 24 and 5 grams respectively. From the experiment, it was concluded that the Andrographis paniculata dryer using PTFE with air circulation system was suitable for drying the Andrographis paniculata after drying for 6 hours. The maximum temperature was 50-55 ℃. The final weight is 5 grams, which is the standard moisture content, and is in the range of 8-10 % dry basis. The results were analyzed by taking 1.0053 grams of dried Andrographis paniculata for TLC testing using HPTLC for andrography determination at the Faculty of Pharmacy Laboratory

Mahasarakham University, the result is 1.0717 W/W, which meets the standard.

Keyword : Dryer for Andrographis Paniculata, PTFE, Andrographis paniculata

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ชลธี โพธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ รวมไปถึงการให้คำแนะนำในการทำวิจัยมาโดยตลอด และรวมไปถึงบริษัท ALL information Technologies ขอนแก่น ที่ได้อนุญาตและให้ความอนุเคราะห์รวมไปถึงอำนวยความสะดวกในด้านการใช้เครื่องมือและด้านการค้าคว้าการทำวิจัยในครั้งนี้ และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณโครงการโรงเรียนในโรงงาน (RDI) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้

ภาสกร ทางดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 3

2.1 หลักการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้ง 3

2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 12

2.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง 14

2.4 พลาสติก พีทีเอฟอี PolyTetraFluoroEthylene 15

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 21

3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 21

3.2 การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 21

3.3 การออกแบบห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียม 24

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง 28
3.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 31
3.6 การหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียก ณ เวลาต่างๆ 32
บทที่ 4 ผลการทดลอง 1
4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียม 1
4.2 ส่วนประกอบและวิธีการสร้างเตาอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 2
4.3 การทดสอบ 4
บทที่ 5 สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง 44
5.1 สรุปผลการทดลอง 44
5.2 อภิปรายผลการทดลอง 45
5.3 ข้อเสนอแนะ 45
บรรณานุกรม 46
ประวัติผู้เขียน 50

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ข้อมูลต้นแบบห้องทดสอบ 25

ตาราง 2 แสดงข้อมูลของหลอดที่ใช้สำหรับจำลองแสงอาทิตย์เทียม 27

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง [8] 4

ภาพประกอบ 2 แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร [8] 5

ภาพประกอบ 3 แสดงอัตราการแห้งของผลผลิตทางการเกษตรระหว่างการอบแห้ง [8] 5

ภาพประกอบ 4 แสดงแผนภูมิน้ำประเภทต่างๆ ในวัตถุชื้น [8] 9

ภาพประกอบ 5 กราฟแสดง Sorption isotherm [8] 10

ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงการแปรค่าความร้อนแฝงของผลผลิตทางการเกษตร [8] 10

ภาพประกอบ 7 แสดงแผนภูมิอากาศชื้นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [9] 12

ภาพประกอบ 8 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง [9] 13

ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานรังสีอาทิตย์ทางอ้อม [8] 14

ภาพประกอบ 10 แสดงพลาสติก พีทีเอฟอี [11] 17

ภาพประกอบ 11 แสดงโรงเรือนอบแห้งรูปทรงพาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงอาทิตย์ด้านข้าง [20] 20

ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรในการวิจัยนี้ 21

ภาพประกอบ 13 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง 22

ภาพประกอบ 14 แสดงผังการทำงานของเครื่องอบ 23

ภาพประกอบ 15 การปล่อยสเปคตรัมแสงของหลอดฮาโลเจน 25

ภาพประกอบ 16 แสดงขนาดทางเลขาคณิตของหลอดไฟ 26

ภาพประกอบ 17 แสดงมุมของแสงจากหลอดไฟ 26

ภาพประกอบ 18 ผลการจำลองระบบส่องสว่างด้วยโปรแกรมไดอะลักซ์ 27

ภาพประกอบ 19 เครื่องวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในภายนอกเครื่องอบ[21] 29

ภาพประกอบ 20 เครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง [22] 29

ภาพประกอบ 21 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล [23] 30
ภาพประกอบ 22 มัลติมิเตอร์ [24] 31
ภาพประกอบ 23 แสดงลักษณะทางการภาพของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร [25] 32
ภาพประกอบ 24 โครงสร้างและส่วนประกอบของห้องทดลองระบบแสงอาทิตย์เทียม 1
ภาพประกอบ 25 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกกระจก 2
ภาพประกอบ 26 แสดงเครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ .. 2
ภาพประกอบ 27 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี 3
ภาพประกอบ 28 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ 3
ภาพประกอบ 29 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ 4
ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 5
ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกแบบ ระบบหมุนเวียนอากาศ 5
ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 6
ภาพประกอบ 33 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ 7
ภาพประกอบ 34 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ 7
ภาพประกอบ 35 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 8
ภาพประกอบ 36 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 8
ภาพประกอบ 37 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 9

ภาพประกอบ 38 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 10
ภาพประกอบ 39 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 10
ภาพประกอบ 40 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 11
ภาพประกอบ 41 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 11
ภาพประกอบ 42 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 12
ภาพประกอบ 43 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 13
ภาพประกอบ 44 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 13
ภาพประกอบ 45 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 14
ภาพประกอบ 46 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 14
ภาพประกอบ 47 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 15
ภาพประกอบ 48 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 16
ภาพประกอบ 49 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 16
ภาพประกอบ 50 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 17

ภาพประกอบ 51 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 18

ภาพประกอบ 52 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 19

ภาพประกอบ 53 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีแบบและระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 19

ภาพประกอบ 54 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20

ภาพประกอบ 55 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20

ภาพประกอบ 56 แดสงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 21

ภาพประกอบ 57 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 21

ภาพประกอบ 58 แดสงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 22

ภาพประกอบ 59 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 23

ภาพประกอบ 60 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 23

ภาพประกอบ 61 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 24

ภาพประกอบ 62 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 24

ภาพประกอบ 63 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 25

ภาพประกอบ 64 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้ พีทีเอฟอี แบบ ระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร ทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 25

ภาพประกอบ 65 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 26

ภาพประกอบ 66 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 27

ภาพประกอบ 67 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 27

ภาพประกอบ 68 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม) 28

ภาพประกอบ 69 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 28

ภาพประกอบ 70 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 29

ภาพประกอบ 71 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30

ภาพประกอบ 72 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 31

ภาพประกอบ 73 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 31

ภาพประกอบ 74 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 32

ภาพประกอบ 75 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 33

ภาพประกอบ 76 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 34

ภาพประกอบ 77 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 34

ภาพประกอบ 78 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 35

ภาพประกอบ 79 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 35

ภาพประกอบ 80 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 36

ภาพประกอบ 81 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 37

ภาพประกอบ 82 แสดงค่าความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง..... 38

ภาพประกอบ 83 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 38

ภาพประกอบ 84 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง..... 39

ภาพประกอบ 85 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง..... 40

ภาพประกอบ 86 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง..... 41

ภาพประกอบ 87 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง..... 42

ภาพประกอบ 88 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง..... 43

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันคนไทยให้ความสนใจเกี่ยวกับการดูแลรักษาสุขภาพและพืชสมุนไพรมากขึ้น [1] จึงทำให้เกิดการนำเอาสมุนไพรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพกันอย่างแพร่หลาย [2] ผลผลิตเกี่ยวกับสมุนไพรและการเกษตรส่วนใหญ่นั้นมักจะถูกนำมาทำให้แห้งโดยวิธีการตากแดดเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่วิธีการตากแดดนี้มีปัญหาคือ ผลผลิตมีความชื้นและไม่สามารถทำให้แห้งไม่ทันเวลา ส่งผลให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย เช่น มีเชื้อรา มีสารพิษสูงเกินมาตรฐาน เป็นต้น [3]

ปัญหาข้างต้นที่กล่าวมา สามารถแก้ไขได้ด้วยการลดความชื้นโดยการอบแห้ง ซึ่งมีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน ได้แก่ การอบแห้งสมุนไพรโดยใช้ความร้อนจากฮีทเตอร์อินฟราเรด [4] การอบแห้งโดยการใช้วิธีการแผ่รังสีอินฟราเรด [5] การอบแห้งโดยการใช้ลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดและสนามไฟฟ้าแรงดันสูง [6] เนื่องจากหลายปัจจัยที่เหมาะสม ทำให้ในการวิจัยนี้ได้เลือกเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น แต่อุณหภูมิในการอบแห้ง 50-60 องศาเซลเซียสนี้ จะมีค่าอุณหภูมิดังกล่าวเฉพาะเวลาที่แดดมีความเพียงพอเท่านั้น ปัญหาที่กล่าวมาทำให้เกิดการศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพในการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรให้มากขึ้น กล่าวคือการเพิ่มระยะเวลาในการอบ โดยใช้พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ในกระบวนการการจำลองปรากฏการณ์เรือนกระจก

จากวิธีการแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น เป็นวิธีการที่ช่วยในการอบในรูปแบบต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การหาประสิทธิภาพหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำให้ค่าอัตราความเข้มข้นของตัวยาที่อยู่ในสมุนไพรฟ้าทะลายโจรมีความถูกต้องและตัวยามีประสิทธิภาพมากที่สุดเป็นสิ่งที่สำคัญ รวมไปถึงการประหยัดทางด้านพลังงาน และสะดวกต่อการใช้งานดังนั้นในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจเกี่ยวกับการสร้างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร โดยการจำลองปรากฏการณ์เรือนกระจก

การอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ให้ได้ค่าความเข้มข้นของตัวยานั้นเป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก นำมาสู่การพัฒนาเครื่องอบสมุนไพรที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด โดยต้องมีการประหยัดพลังงานและใช้งานได้ง่ายสะดวก ในการวิจัยนี้ได้ใช้หลักการการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกโดยใช้พลาสติก Polytetrafluoroethylene (PTFE) หรือพีทีเอฟอี ซึ่งพีทีเอฟอีมีคุณสมบัติสามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์และกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ได้ โดยใช้วิธีการสร้างโครงสร้างให้เป็นแบบลูกโป่งพร้อมบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพลาสติกพีทีเอฟอีสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 260 องศเซลเซียส พร้อมทั้งสามารถใช้งานได้กับอาหาร Food Grade และยังทนทานต่อทุกสภาพอากาศ [7]

มีการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบสมุนไพรในรูปแบบต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการวิจัยในส่วนของการสร้างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ให้ค่าอัตราความเข้มข้นของตัวยาที่เหมาะสมที่สุด ทั้งยังประหยัดพลังงาน และสะดวกต่อการใช้งาน จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษา ออกแบบและจัดสร้างเตาอบฟ้าทะลายโจรโดยใช้วัสดุพีทีเอฟอี

1.2.2 ทดสอบประสิทธิภาพการอบฟ้าทะลายโจรของเครื่องที่จัดสร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ตู้อบสามารถอบป้องกันการดูดกลับความชื้นได้

1.3.2 ตู้อบสามารถอบสมุนไพรให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้งานได้

1.4.2 ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้ง และงานวิจัยที่พัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคยมีมา

2.1 หลักการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้ง

2.1.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุที่มีความชื้น เพื่อทำให้ความชื้นจากวัตถุออกมาในรูปแบบของการระเหย โดยจะอาศัยความร้อนที่รับเข้ามาเป็นความร้อนแฝง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลจากวัตถุออกสู่อากาศส่งผลให้ความชื้นที่อยู่ภายในวัตถุลดลง วิธีการนำพลังงานความร้อนที่สามารถนำมาใช้ในการอบแห้งมีหลายวิธี เช่น การนำความร้อนจากพลังงานไฟฟ้ามาใช้ หรือการนำเอาพลังงานเชื้อเพลิงต่าง ๆ รวมไปถึงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นต้น

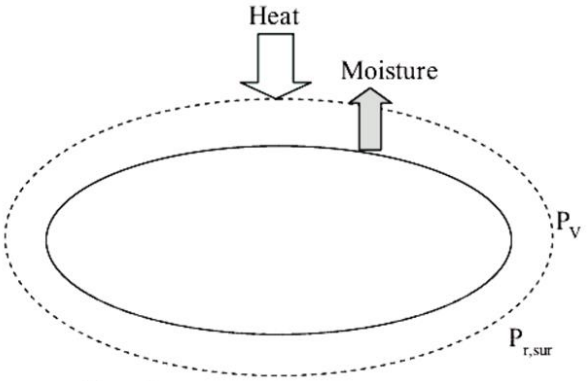
การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัตถุชื้นออกมาที่บริเวณผิว เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัตถุนั้น กระบวนการเหล่านี้ได้แก่ การแพร่ (Diffusion) การไหลภายภายในท่อเหล็กในโครงสร้างของวัตถุ (Capillary flow) การไหลจากความดันออสโมติก (Osmotic pressure) และการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นต้น

ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุ ส่งผลให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำที่อยู่ในวัตถุจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของน้ำจากวัตถุไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุและในอากาศมีค่าเท่ากันดังแสดงในสมการ (2.1) และแสดงดังภาพประกอบ 1

$$P_{v,sur} = P_v \tag{2.1}$$

โดยที่ $P_{v,sur}$ คือ ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ

P_v คือ ความดันไอน้ำในอากาศ



ภาพประกอบ 1 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง [8]

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์จะเท่ากับพลังงานความร้อนของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [8] ดังสมการ (2.2)

$$m_i C_{p,c}\left(T_{a,i}-T_b\right)+m_w h_{f8}=m_a[C_{p,a}\left(T_{a,i}-T_{a,o}\right)+\left(\varpi_{a,o}-\varpi_{a,i}\right)h_{f8}]\times t \qquad (2.2)$$

โดยที่ $C_{p,c}$ คือ ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส)

$C_{p,a}$ คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส)

$T_{a,i}$ คือ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง (องศาเซลเซียส)

$T_{a,o}$ คือ อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องอบแห้ง (องศาเซลเซียส)

T_b คือ อุณหภูมิของวัสดุก่อนอบแห้งที่มีค่าเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

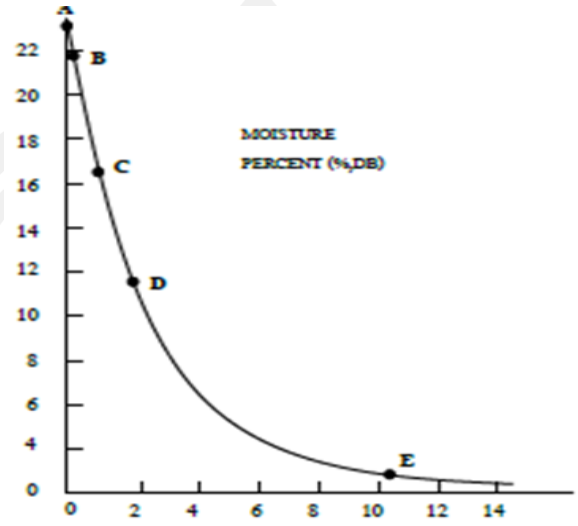
h_{f8} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำของวัสดุ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศในเครื่องอบแห้ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

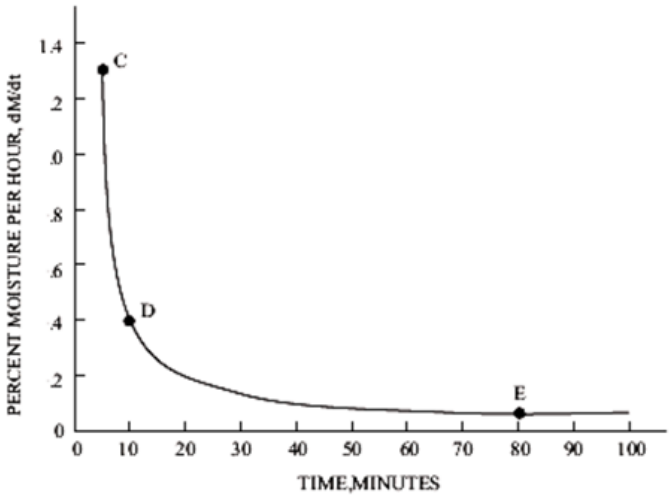
$\varpi_{a,o}$ คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศขาออกจากเครื่องอบแห้ง (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน)

$\varpi_{a,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน) t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (วินาที)

ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร ความชื้นที่ลดลงจะมีลักษณะดังภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ 2 แสดงการลดงของความชื้นในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร [8]



ภาพประกอบ 3 แสดงอัตราการแห้งของผลผลิตทางการเกษตรระหว่างการอบแห้ง [8]

การอบแห้งวัสดุทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ

1.ช่วงอัตราอบแห้งคงที่ อัตราความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติ บริเวณที่ผิวของวัสดุมีน้ำเกาะเป็นจำนวนมาก เมื่อมีความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของวัสดุ อุณหภูมิที่ผิววัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าที่คงที่

2.ช่วงอัตราอบแห้งลดลง อัตราความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ เมื่อมีความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในวัสดุมายังบริเวณผิวของวัสดุในรูปแบบของเหลวหรือไอน้ำ และน้ำที่บริเวณผิวของวัสดุจะระเหยไปกับอากาศ ดังสมการ (2.3)

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_c A}{L}(T_a - T_{sur}) \tag{2.3}$$

เมื่อ $\frac{dM}{dt}$ คือ อัตราการแห้ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

h_c คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือบริเวณผิวของผลผลิต (วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน)

A คือ พื้นที่ผิวของผลผลิต (ตารางเมตร)

L คือ ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต (จูลต่อกิโลกรัม)

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (เคลวิน)

T_{sur} คือ อุณหภูมิที่บริเวณผิวของผลผลิต (เคลวิน)

ในส่วนของช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (Falling-rate regime) สามารถเขียนสมการอัตราการแห้งได้ ดังสมการ (2.4)

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \tag{2.4}$$

เมื่อ M_e คือ ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) (%db)

M คือ ความชื้นของผลผลิต (%db)

K คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง (S^{-1})

2.1.2 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งแบบพาความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1.การอบแห้งชั้นบาง (thin layer drying) การอบแห้งในลักษณะนี้ วัตถุจะวางเรียงกันเป็นชั้นบางๆ หรือวางเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ด กรณีที่การอบแห้งเล็ดพืชแบบชั้นบาง การลดลงของความชื้นนั้นสามารถเขียนในรูปแบบสมการได้ ดังสมการ (2.5)

$$\frac{M(t)-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-kt) \quad (2.5)$$

เมื่อ $M(t)$ คือ ความชื้นขณะเวลา t (%, db)

M_e คือ ความชื้นสมดุล (%, db)

M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น (%, db)

K คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง (s^{-1})

2.การอบแห้งชั้นหนา (Deep bed drying)

การอบแห้งแบบนี้จะวางซ้อนกันหลายๆ ชั้น เช่น การอบแห้งข้าวโดยใช้อากาศแวดล้อม (In-bin drying) ในส่วนของการคำนวณการลดลงของความชื้นในเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปจะพิจารณาดังนี้ การอบแห้งชั้นหนาจะประกอบด้วยการอบแห้งชั้นบางเรียงกันหลายๆ ชั้นและทำการหาสมการสมดุลของพลังงานและมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น [9]

2.1.3 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุได้แก่

1.อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิการอบแห้งสูง อัตราการอบแห้ง (Drying rate) จะมีค่าที่สูงกว่าในส่วนของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ

2.ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำนั้นจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัสดุชื้นได้มากกว่าในส่วนของอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3.ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุชื้น กรณีความเร็วอากาศสูงขึ้นความชื้นจากวัตถุจะถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่าในรูปแบบของกรณีอากาศอยู่นิ่งหรือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ แต่ค่าดังกล่าวจะมีผลค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิรวมไปถึงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.1.4 สมบัติของวัตถุชื้น

1. ความชื้นของวัตถุ

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, wb) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ชื้น [10] ดังสมการ (2.6)

$$M_w = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (2.6)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, db) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง [10] ดังสมการที่ (2.7)

$$M_d = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (2.7)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

m_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)

m_f คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์แห้ง (กิโลกรัม)

ความชื้นมาตรฐานเปียกจะใช้ในทางการค้า ในส่วนของความชื้นมาตรฐานแห้งจะใช้ในการคำนวณ รวมไปถึงการศึกษาในทางวิทยาศาสตร์

2. ลักษณะของการเกาะตัวของน้ำบนวัตถุชื้น น้ำที่เกาะตัวกับของแข็งในวัตถุที่มีความชื้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

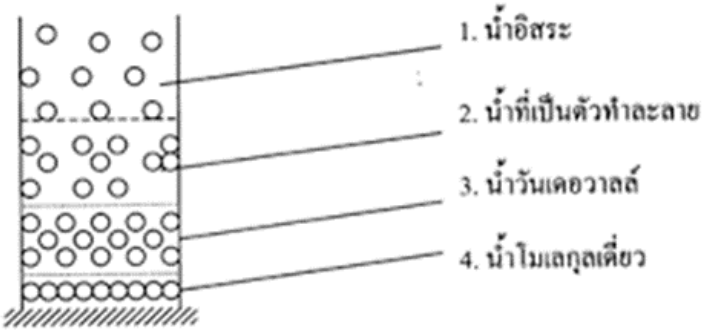
1) น้ำอิสระ (Free water)

2) น้ำที่เป็นตัวทำละลาย (Solvent water)

3) น้ำที่เกาะตัวโดยแรงวันเดอวาลล์ (Water attached with Van de Waal force)

4) น้ำโมเลกุลเดี่ยว (Mono-molecular water)

โดยน้ำแต่ละชนิดมีลักษณะดังภาพประกอบ 4

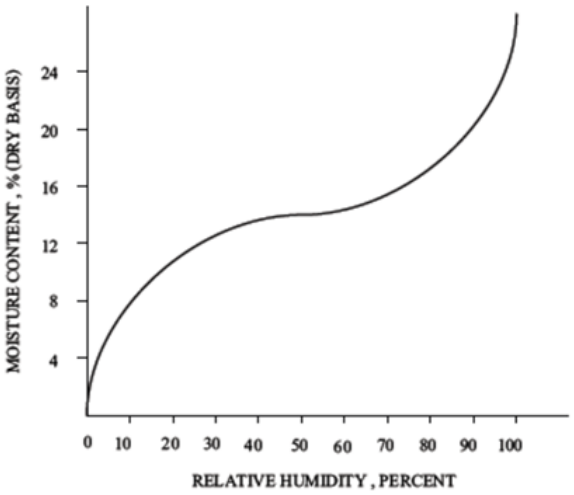


ภาพประกอบ 4 แสดงแผนภูมิน้ำประเภทต่างๆ ในวัตถุชื้น [8]

ชั้นนอกสุดของผิวของแข็งจะมีน้ำอิสระที่เกาะอยู่ ในส่วนของน้ำในรูปแบบอื่นจะอยู่ถัดลงมาจนถึงน้ำในรูปแบบของโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งจะอยู่ที่ผิวสัมผัสของของแข็ง ในส่วนของการแยกน้ำแบบอิสระนั้นจะใช้พลังงานที่น้อยที่สุด แต่ในส่วนของน้ำแบบโมเลกุลเดี่ยวจะต้องใช้พลังงานในการแยกน้ำออกจากวัตถุชื้นมากที่สุด

3. ความชื้นสมดุล

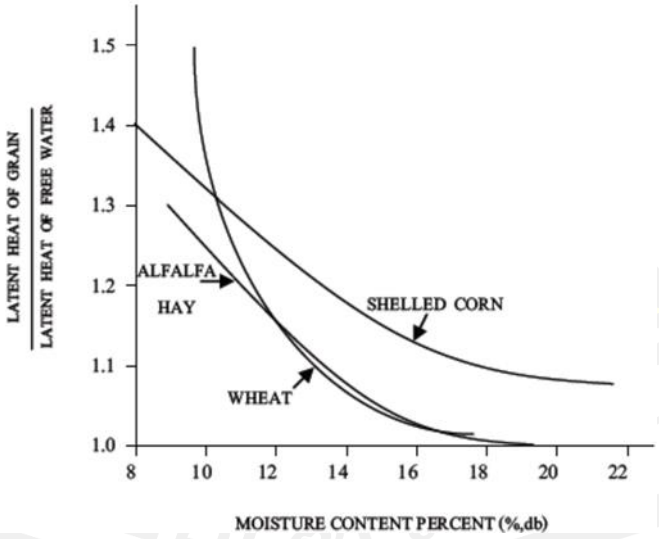
วัตถุชื้นจะมีการดูดและคายความชื้นจากอากาศบริเวณรอบ ๆ จนกระทั่งค่าความชื้นมีค่าที่คงที่หรืออยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศบริเวณโดยรอบ ความชื้นนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิ รวมไปถึงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถหาได้โดยการทำการทดลอง โดยทั่วไปแล้วกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่ในสภาวะสมดุลและอุณหภูมิคงที่ เรียกว่า Sorption isotherm ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่เป็นกราฟดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 กราฟแสดง Sorption isotherm [8]

4. ความร้อนแฝง

ความร้อนแฝง คืออัตราความร้อนที่ใช้ในกระบวนการระเหยน้ำออกจากวัตถุชื้น จะมีค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของวัตถุดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงการแปรค่าความร้อนแฝงของผลผลิตทางการเกษตร [8]

ความร้อนแฝงของผลผลิตทางการเกษตรสามารถเขียนในรูปของสมการเอ็มไพริคัลได้ ดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$\frac{L}{L'} = 1 + a \exp(-bM_d) \tag{2.8}$$

เมื่อ L คือ ความร้อนแฝงของวัตถุชื้น [จูลต่อกิโลกรัม]

L' คือ ความร้อนแฝงของน้ำ [จูลต่อกิโลกรัม]

M_d คือ ความชื้นของวัตถุมาตรฐานแห้ง

a,b คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ

นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติความร้อนอื่นๆ ของวัตถุชื้นที่ส่งผลต่อการอบแห้ง เช่น ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) สภาพนำความร้อน (Heat conductivity) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective heat transfer coefficient) พื้นที่ผิวต่อปริมาตรวัตถุ เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับปริมาตรของวัตถุ และสามารถหาได้จากการทดลอง

2.1.5 คุณสมบัติของอากาศชื้น

อากาศทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปยังวัตถุชื้น และพาความชื้นจากวัตถุออกมายังภายนอก ประกอบไปด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่แสดงได้ด้วยตัวแปร 7 ตัวแปร ดังนี้

1.อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db})

2.อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb})

3.อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature)

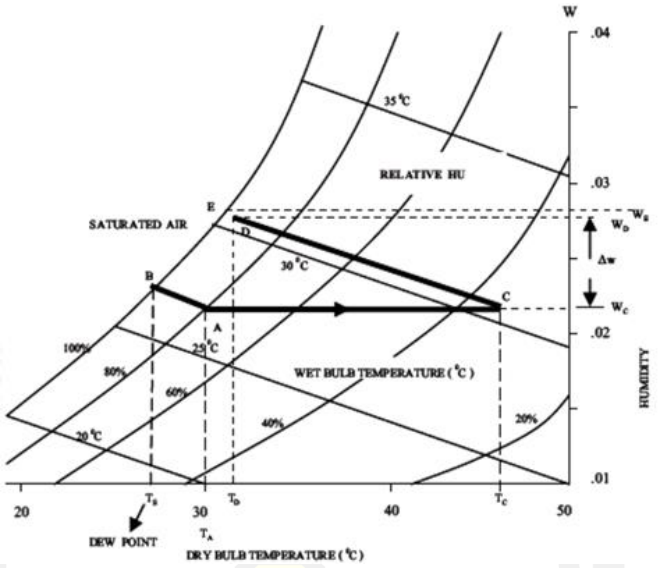
4.ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, rh)

5.ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)

6.เอนทาลปี (Enthalpy)

7.ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)

ตัวแปรทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์กันและยังสามารถแสดงเป็นแผนภูมิอากาศชื้น (Psychometric chart) ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงแผนภูมิอากาศชื้นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [9]

ในกระบวนการอบแห้ง อุณหภูมิที่กระเปาะแห้งของอากาศจะลดลงสู่อุณหภูมิจุดน้ำค้างใน

ขณะที่อุณหภูมิที่กระเปาะเปียกจะมีค่าคงที่ จากภาพประกอบ 7 เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณไอน้ำ อัตราส่วนของความชื้นจะมีค่าคงที่ แสดงได้ด้วยเส้นตรง AC ถ้านำอากาศร้อนในส่วนนี้ไปใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิที่กระเปาะแห้งจะลดลง และความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศได้ถ่ายเทความร้อนให้วัตถุและยังรับความชื้นจากวัตถุนั้น แสดงได้ด้วยเส้นตรง CD

2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

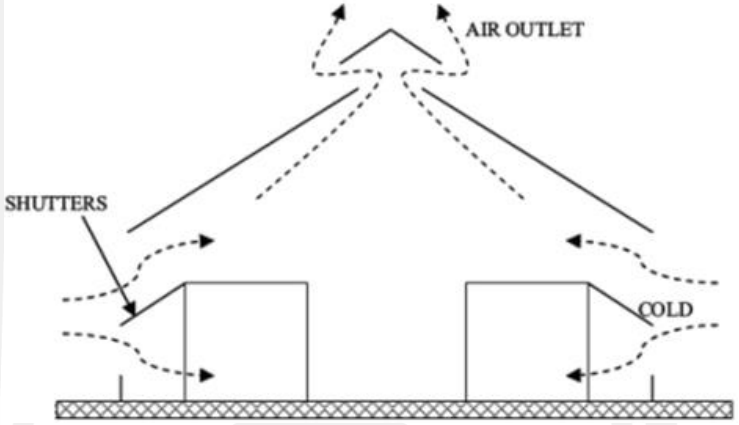
การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยการใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำออกจากจากผลผลิต ซึ่งอาศัยการพาความร้อน โดยปรกติการแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection drying) ซึ่งจะอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อน รวมไปถึงการพาความร้อนแบบบังคับอากาศ (forced- convection drying) โดยอาศัยแรงดันจากพัดลมเพื่อพาความร้อนไปสู่ผลผลิต และนอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของการอบแห้งตามวิธีการรับรังสีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ รับรังสีโดยตรง (direct mode dryer) รับรังสีโดยอ้อม (indirect mode dryer) และแบบผสม (mixed mode dryer)

2.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนธรรมชาติ

เครื่องอบแห้งในรูปแบบนี้สามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท ดังนี้

1. รับรังสีอาทิตย์และพลังงานโดยตรง (Direct mode)

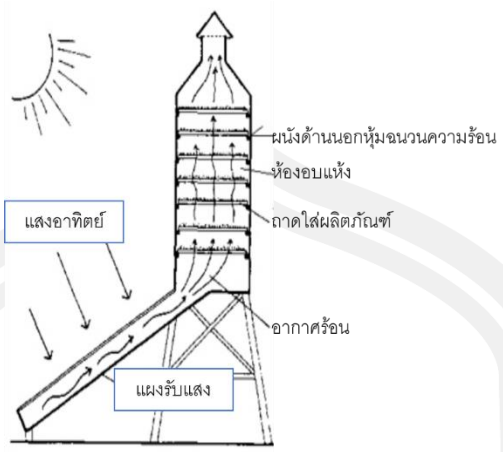
เครื่องอบในรูปแบบนี้รังสีของดวงอาทิตย์จะตกลงบนผลผลิตที่ต้องการอบแห้งโดยตรง ความชื้นจะถูกพาขึ้นไปด้านบนโดยการไหลของอากาศจากการพาความร้อนตามธรรมชาติ รังสีดวงอาทิตย์จะส่องผ่านวัสดุโปร่งแสง อาจจะเป็นกระจกหรือพลาสติก แผ่นโปร่งแสงจะทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยการนำพาความร้อนรวมไปถึงการแผ่รังสีความร้อน และยังสามารถป้องกันฝุ่นละออง แมลงต่างๆและฝนอีกด้วย ตัวอย่างเครื่องอบแห้งประเภทนี้มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง [9]

2.รับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect mode)

เครื่องอบแห้งรูปแบบนี้จะมีแผงที่รับรังสีอาทิตย์ ทำงานโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Indirect mode) อุณภูมิความร้อนที่ได้จะลอยตัวและไหลผ่านผลผลิตที่อบแห้งดังแสดงในภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานรังสีอาทิตย์ทางอ้อม [8]

2.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งโดยทั่วๆไปสามารถหาได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัตถุอบแห้งทั้งหมด รวมไปถึงการทราบค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ของอากาศแห้งซึ่งจะมีค่าลดลง ดังสมการ (2.9)

$$\text{ประสิทธิภาพความร้อน} = \frac{\text{น้ำหนักที่ระเหย } \mathbf{X} \text{ ความร้อนแฝง}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบ}} \qquad (2.9)$$

ในส่วนของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ ซึ่งอากาศจะได้รับความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งคำนวณได้ดังสมการ (2.10)

$$\eta = \frac{mh_{fg}}{Al} \times 100\% \qquad (2.10)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์

m คือ น้ำหนักของน้ำที่ระเหยต่อวัน

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

A คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง

l คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นที่ราบต่อตารางเมตรต่อวัน

2.4 พลาสติก พีทีเอฟอี PolyTetraFluoroEthylene

พลาสติกพีทีเอฟอี (PolyTetraFluoroEthylene; PTFE) เป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง พลาสติกชนิดนี้ถูกค้นพบขึ้นในปี พ.ศ.2481 โดย Roy Plunkett ในขณะที่เขาทำงานอยู่ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ Plunkett พยายามที่จะทำสารทำความเย็นของ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน พบว่าแก๊สในขวดแรงดันหยุดไหลก่อนที่น้ำหนักขวดจะลดลงสู่จุดที่ว่างเปล่า เนื่องจาก Plunkett กำลังวัดปริมาณก๊าซที่ใช้โดยการชั่งน้ำหนักขวดเขาจึงกลายเป็นคนแปลกใจว่าแหล่งที่มาของน้ำหนักและในที่สุดก็ใช้เลื่อยในการเลื่อยขวดออกจากกัน เขาพบว่าภายในของขวดเคลือบด้วยวัสดุสีขาวขี้ผึ้งที่ลื่นอย่างผิดปกติ การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามันเป็น Polymerized perfluoroethylene ด้วยเหล็กจากด้านในของภาชนะที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดันสูง Kinetic Chemicals ได้รับการจดสิทธิบัตรพลาสติกใหม่ Fluorinated ในปีพ. ศ. 2484 และจดทะเบียนเครื่องหมายการค้าเทฟลอนในปีพ. ศ. 2488 [12]

2.4.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของ พีทีเอฟอี

สารประกอบของพลาสติก พีทีเอฟอี ประกอบด้วย คาร์บอน และ ฟลูออรีน พันธะโครงสร้างเป็นแรงลอนดอนเนื่องจากมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานของของแข็งมีค่าน้อยมาก พีทีเอฟอี เป็น เทอร์โมลิเมอร์ซึ่งเป็นของแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้องที่มีความหนาแน่นประมาณ 2,200 กก. จุดหลอมเหลวของมันคือ 600 K (327 ° C; 620 ° F) และมีความยืดหยุ่นสูงที่อุณหภูมิสูงกว่า 194 K (-79 ° C; -110 ° F.) ความแข็งแรงและความสามารถในการหล่อลื่นของตัวเองสูงที่อุณหภูมิต่ำถึง 5 K (-268.15 ° C; -450.67 ° F) พีทีเอฟอี รับคุณสมบัติของมันมาจากผลรวมของ พันธะคาร์บอนฟลูออรีนเช่นเดียวกับ Fluorocarbons ทั้งหมด สารเคมีชนิดเดียวที่ทราบว่ามีผลต่อพันธะคาร์บอนฟลูออรีนเหล่านี้เป็นโลหะที่มีปฏิกิริยาสูง เช่น โลหะอัลคาไลน์และอุณหภูมิที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีโลหะเช่นอลูมิเนียมและแมกนีเซียมและตัวแทน Fluorinating เช่น Difluoride ซีนอน และ โคบอลต์ (III) ฟลูออไรด์

2.4.2 การใช้งาน พีทีเอฟอี

การนำมาใช้งานหลักของพีทีเอฟอีใช้เวลาประมาน 50 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตสำหรับการเดินสายไฟในอวกาศและการใช้คอมพิวเตอร์ เช่น สายโคแอกเชียล พีทีเอฟอี มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำมาประกอบเป็นสายเคเบิลในแผงวงจรพิมพ์ หรือใช้ในไมโครเวฟ มีความถี่และอุณหภูมิในการหลอมละลายสูง ในส่วนการใช้งานในอุตสาหกรรมเนื่องจาก พีทีเอฟอี มีค่าแรงเสียดทานต่ำ ใช้สำหรับ แบริ่งธรรมดา เกียร์ แผ่นสไลด์

พีทีเอฟอี ยังใช้งานอย่างกว้างขวางในการผลิตคอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์รวมทั้งวัสดุที่ผสมไฟเบอร์กลาสโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ และยังถูกใช้เป็นชิ้นส่วนคาร์บอนหรือไฟเบอร์กลาสที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการห่อหุ้มที่ใช้ปิดผนึกพันธะเมื่อมีการเลียนแบบการดูดสุญญากาศของอากาศระหว่างชั้นของวัสดุคลุมนอน และเมื่อบ่มคอมโพสิตปกติในหม้อนึ่งความดันพีทีเอฟอี ซึ่งใช้เป็นฟิล์มช่วยป้องกันไม่ให้วัสดุที่ไม่ใช่การผลิตเกาะติดกับชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นซึ่งเหนียวเนื่องจากคาร์บอนไฟท์หรือแผ่นใยแก้วที่เตรียมไว้ล่วงหน้าด้วยเรซินวัสดุที่ไม่ได้ผลิตเช่น Teflon, Air weave Breather และถุงจะถือเป็น FOD (เศษวัตถุแปลกปลอม / ความเสียหาย) หากปล่อยทิ้งไว้ เนื่องจากการไม่เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงและการให้อุณหภูมิสูงพีทีเอฟอีมักถูกใช้เป็นส่วนประกอบในสายยางข้อต่อการขยายตัวรวมไปถึงในท่ออุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ใช้กรดด่างหรือสารเคมีอื่น ๆ คุณสมบัติการเสียดสีช่วยให้สามารถไหลของของเหลวข้นหนืดสูงและใช้ในการใช้งานเช่น ท่อเบรก พีทีเอฟอี ยังสามารถใช้เคลือบกระทะและเครื่องครัวต่างๆ เพื่อให้เครื่องครัวมีความหล่อลื่นเพื่อการใช้งานของเครื่องครัวที่สะดวก

การใช้งานทางการฉายรังสีทางแสง แผ่น พีทีเอฟอี ใช้เป็นหัววัดใน Spectroradiometers และ Radiometers (เช่น เครื่องวัดความส่องสว่าง และเครื่องฉายรังสีอัลตราไวโอเลต) เนื่องจากความสามารถในการกระจายสัญญาณของพีทีเอฟอีได้เกือบสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางแสงของพีทีเอฟอีอยู่อย่างต่อเนื่องในช่วงที่กว้างของความยาวคลื่นจากรังสียูวีลงไปใกล้อินฟราเรดในภูมิภาคนี้อัตราส่วนของการส่งผ่านปกติเพื่อกระจายการส่งผ่านที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ ดังนั้นแสงที่ส่งผ่าน Diffuser แผ่นพีทีเอฟอีแผ่กระจายเหมือนกฎเบียร์แลมเบิร์ต พีทีเอฟอีจึงช่วยให้สามารถตอบสนองเชิงมุมของรูปคลื่นไซน์สำหรับเครื่องตรวจวัดพลังงานของรังสีออปติคัลที่ผิว เช่น ในแสงอาทิตย์ การวัดการฉายรังสีเป็นต้น [12] ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะแผ่นพลาสติกพีทีเอฟอี

ภาพประกอบ 10 แสดงพลาสติก พีทีเอฟอี [11]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลากว่า 20 ปีที่ผ่านมา การนำเอาศักยภาพทางด้านพลังงานของแสงอาทิตย์ มาแก้ไขปัญหาทางด้านการตากแห้งผลผลิตทางการเกษตร ได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้ง ซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่สำคัญ ซึ่งพอจะกล่าวสรุปได้ดังนี้

Sopajarn, A., Niseng, S., & Ritplin, T. [13] ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาการอบชาสมุนไพรใบพลูด้วยความร้อนจากฮีตเตอร์อินฟราเรด โดยใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยการใช้ตู้อบสมุนไพรฮีตเตอร์อินฟราเรด 350 วัตต์ เป็นตัวแหล่งพลังงานให้ความร้อน ใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ 100 วัตต์ แบตเตอร์รี่ 100 แอมแปร์ 12 โวลต์ ผลการทดลองปรากฏว่าที่สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อใบพลูคือ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 3 ชั่วโมง ความชื้นหลังอบของชาใบพลูมีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, สลิลลา ชาญเชี่ยว และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล [14] ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาการอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกแห้งชงดื่มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ความสิ้นเปลืองพลังงานคุณภาพ มีการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งใบบัวบกด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด อุณหภูมิการทดสอบอยู่ในช่วง 50-70 องสาเซลเซียส ขนาดกำลังของอินฟราเรดมีขนาด 500-1,500 วัตต์ ทำการอบจนกระทั่งใบบัวบกมีความชื้นสุดท้าย 20.0 มาตรฐานแห้ง

ศุภรัตน์ เนินปลอด ธนิต สวัสดิ์เสวี ดลฤดี ใจสุทธิ์ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. [15] ทำการวิจัยเรื่อง การอบแห้งฟ้าทะลายโจรด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและสนามไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ คุณภาพ รวมไปถึงความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะในการอบแห้งฟ้าทะลายโจร ความเร็วลมในการอบ 0.2-0.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ขนาดแรงดันไฟฟ้า 0 7.5 และ 15 กิโลโวลต์ ทำการควบคุมอุณหภูมิผิวของวัสดุให้เท่ากับอุณหภูมิลมร้อนเข้าห้องอบแห้ง ผลการทดลอง เวลาในการอบแห้งจะลดลงเมื่อสนามไฟฟ้าแรงดันสูงมีค่าสูงขึ้น

Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B. K., Nagle, M., & Müller, J. [16] ทำการวิจัยเรื่อง การทดลองและการจำลองประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเรือนกระจกโดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งลำไยและกล้วยที่ปลอกเปลือกแล้ว โดยโครงสร้างของเครื่องเป็นโครงสร้างหลังคาแบบพาราโบลาซึ่งเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่พื้นคอนกรีต การอบแห้งลำไยรวมไปถึงกล้วยที่ปลอกเปลือกแล้วทำการทดลอง 10 ครั้ง สำหรับตากลำไยและทำการทดลอง 5 ครั้งสำหรับตากกล้วย อุณหภูมิที่มีผลต่อการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแห้งนั้นมีการแปรผันตั้งแต่ 31-58 องศาเซลเซียส การอบแห้งลำไยแบบนี้สามารถประหยัดเวลาแบบการนำลำไยไปตากแดดแบบธรรมดาได้ 3 วัน และกล้วย 2 วัน ซึ่งโดยปรกติการตากแห้งแบบธรรมดาการตากแห้งลำไยจะใช้ระยะเวลาอยู่ที่ 5-6 วันเช่นเดียวกับการตากกล้วย

Achariyaviriya, S., Achariyaviriya, A., & Ketwijitchai, T. [17] ทำการวิจัยเรื่อง สมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่เหมาะสมของผลพลับ โดยการหาสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งพลับเพื่อให้เหมาะสมที่สุด ด้วยการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณภูมิ 45 55 และ 65 องศเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 1 เมตรต่อวินาที ขนาดของลูกพลับรัศมีเฉลี่ย 2.9-3.1 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 470-480 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานแห้ง ทำการอบจนความชื้นสุดท้ายมีค่า 30-32 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยการใช้สมการจลนพลศาสตร์ สมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลตามรูปแบบของ Page สามารถทำนายพฤติกรรมการลดลงในส่วนของความชื้นของผลพลับได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลองมากที่สุด

ศรีมา แจ้คำ [18] ทำการวิจัยเรื่องการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดไกล โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งใบมะกรูดด้วยการใช้เทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพด้านสี สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และการหาสมการอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อทำนาย

จลนพลศาสตร์การอบแห้ง ทดลองโดยใช้ใบมะกรูดที่มีความชื้นร้อยละ 170 มาตรฐานแห้ง ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 และ 15 กิโลปาศคาล และที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นระยะสุดท้ายประมานร้อยละ 5 มาตรฐานแห้ง

Tabtiang, S. [19] ทำการวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแปรรูปเห็ดหอมอบแห้ง การอบแห้งเห็ดหอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไมโครเวฟเป็นกระบวรการเทคนิคแบบใหม่เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและการเพิ่มระดับคุณภาพของเห็ดหอมแห้งด้วย การอบแห้งโดยกระบวนการที่ใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับไมโครเวฟช่วยในส่วนของการลดระยะเวลาในการอบแห้ง การหดตัวของเห็ดที่ค่าน้อยทำให้เห็ดอบแห้งมีอัตราส่วนการคืนตัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแบบอื่นๆ

ธวัชชัย อ่องประเสริฐ, และกมลวรรณ จิตจักร [20] ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพโรงเรือนอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งมะเขือเทศราชินี แช่อิ่ม โดยทำการทดลองอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบโรงเรือนแบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เสริมความร้อนจากฮีตเตอร์อินฟราเรด ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการตากแห้งตามธรรมชาติ อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ย 45-60 องศาเซลเซียส ความชื้นของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ร้อยละ 95 มาตรฐานแห้ง ทำการอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยร้อยละ 22 มาตรฐานแห้ง โรงเรือนที่มีระบบอบแห้งแบบมีความร้อนเสริมมีค่าประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดาโดยมีลักษณะแสดงในภาพประกอบ 11

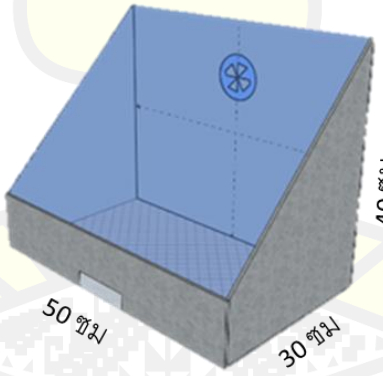
ภาพประกอบ 11 แสดงโรงเรือนอบแห้งรูปทรงพาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงอาทิตย์ด้านข้าง [20]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการจัดสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยการจำลองปรากฏการณ์เรือนกระจกโดยใช้พลาสติก พีทีเอฟอี เพื่อใช้ในการอบแห้งฟ้าทะลายโจร โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีพลาสติกพีทีเอฟอีเป็นหลังคาเตาอบ โดยการจำลองปรากฏการณ์เรือนกระจกเพื่อใช้ในการอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจร โดยการออกแบบให้ตัวเครื่องเป็นไปตามแบบที่ขายในท้องตลาดโดยเครื่องอบแห้งในท้องตลาดนั้นจะใช้กระจกเป็นหลังคาเตาอบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรทั้ง 2 แบบ โดยที่ขนาดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด กว้างxยาวxสูง คือ 30x50x40 ซม. และในส่วนของด้านล่างของเครื่องอบจะมีช่องให้อากาศไหลหมุนเวียน เพื่อช่วยในการลดความชื้นภายในเตาอบให้ลดลงมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรในการวิจัยนี้

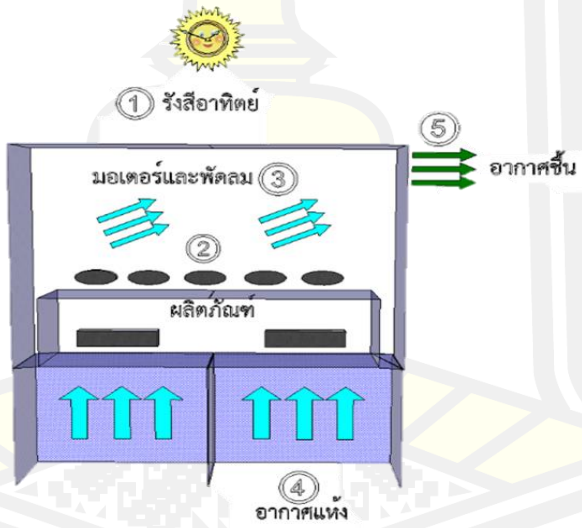
3.2 การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มจากการทำโครงสร้างของเครื่องอบแห้งให้มีความแข็งแรงทนทาน ภายในเครื่องอบมีโครงสร้างเป็นเหล็ก ในส่วนของด้านบนจะมีคานเหล็กไว้

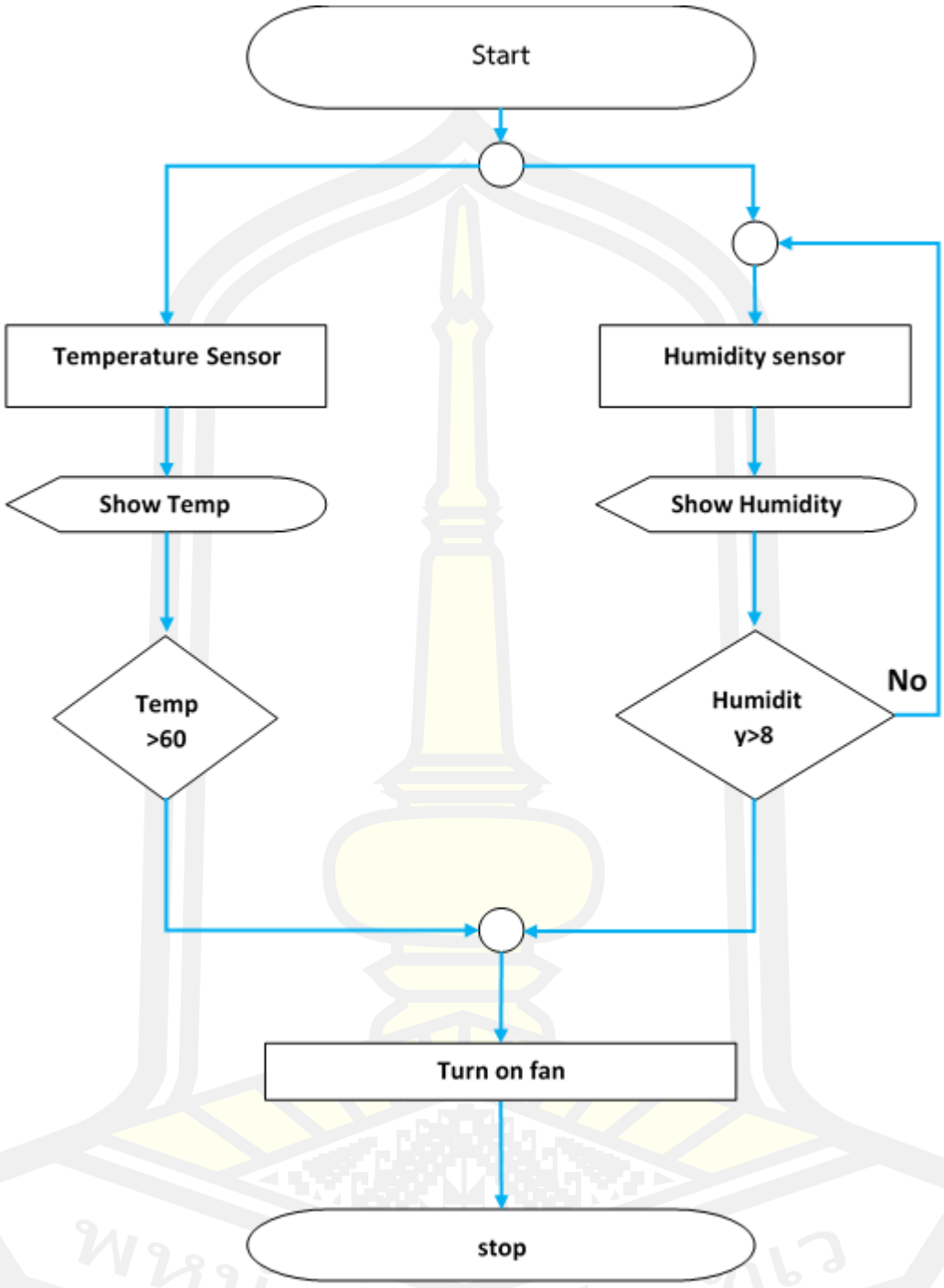
รองรับพลาสติกพีทีเอฟอี แผ่นพลาสติกพีทีเอฟอีจะทำหน้าที่รับรังสีดวงอาทิตย์ และในส่วนของพลาสติกพีทีเอฟอี โครงสร้างเป็นรูปแบบของบับเบิลเพื่ออัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในพลาสติกพีทีเอฟอี ภายในตู้อบจะมีตระแกรงเพื่อใช้วางสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

3.2.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบการจำลองปรากฏการณ์เรือนกระจกโดยใช้พลาสติกพีทีเอฟอีเป็นตัวรับแสงอาทิตย์แสดงในภาพประกอบ 13 เริ่มจากจุดที่ 1 รังสีดวงอาทิตย์ส่องผ่านโครงสร้างเครื่องที่คลอบด้วยพลาสติกพีทีเอฟอี ถัดมาจากนั้นจะเกิดการดูดกลืนพลังงานของรังสีอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นรังสีอินฟราเรดซึ่งไม่สามารถที่จะสะท้อนออกไปได้ ส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมภายในเครื่องอบแห้งในบริเวนจุดที่ 2 เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจะเกิดการระเหยออกของน้ำในผลิตภัณฑ์บริเวณจุดที่ 3 จึงจำเป็นต้องมีช่องสำหรับนำอากาศแห้งในบริเวณในจุดที่ 4 เพื่อการระบายความชื้นออกจากพื้นที่ที่จุดที่ 5 โดยการใช้พัดลมระบายอากาศ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงในหลักการทำงานดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 13 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง



ภาพประกอบ 14 แสดงผังการทำงานของเครื่องอบ

จากภาพประกอบ 14 เป็นแผนผังแสดงการทำงานของเครื่องอบโดยการแสดงค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นหากอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 60 องศาเซลเซียส พัดลมจะทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิภายในเครื่องอบไม่ให้เกิน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

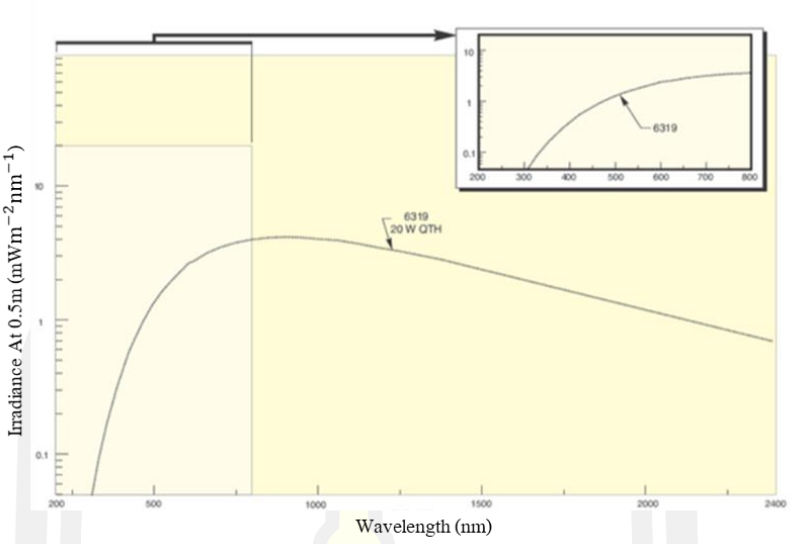
3.2.2 พลาสติกรับรังสีดวงอาทิตย์

ในการวิจัยนี้พลาสติกรับรังสีดวงอาทิตย์ คือพลาสติกพีทีเอฟอี แบบบับเบิลที่บรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ข้างใน ลักษณะของการจำลองปรากฏการณ์ของการเรือนกระจก กล่าวคือ รังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านมายังชั้นบรรยากาศโลก จะประกอบไปด้วยรังสีที่มีหลากหลายความยาวคลื่น เมื่อคลื่นส่งผ่านมาสู่กระจกหรือพลาสติกพีทีเอฟอี ที่เป็นส่วนของโครงสร้างของหลังคาเครื่องอบแห้ง จะเกิดการสะท้อนของรังสีอัลตราไวโอเลตออกไปบริเวณพื้นผิวของพลาสติกพีทีเอฟอี ในส่วนของรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้น จะมีความสามารถในการส่งผ่านทะลุเข้าไปยังภายในเครื่องอบแห้ง และจะเกิดการกระทบและการดูดกลืนพลังงานจนรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นกลายเป็นรังสีคลื่นยาว หรือกลายเป็นรังสีอินฟราเรด ซึ่งรังสีและความร้อนดังกล่าวไม่สามารถเดินทางผ่านกระจกหรือพลาสติกไปได้

3.3 การออกแบบห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียม

3.3.1 หลอดไฟที่ใช้ในสำหรับห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียม

หลอดฮาโลเจน หรือ หลอดฮาโลเจนทังสเตน เป็นหลอดไส้ที่มีไส้หลอดเป็นทังสเตน ซึ่งบรรจุแก๊สเฉื่อยและฮาโลเจนที่ปริมาณน้อย เช่น ไอโอดีนหรือโบรมีน วัฏจักรฮาโลเจนเคมี คือนำทังสเตนที่ระเหยไปกลับมาเป็นไส้หลอดอีกครั้ง ซึ่งขยายอายุการใช้งานของหลอด ด้วยเหตุนี้ หลอดฮาโลเจนจึงสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าหลอดเติมแก๊สมาตรฐานที่มีกำลังและอายุการใช้งานเท่ากัน หลอดฮาโลเจนจึงมีค่าประสิทธิศักย์ความสว่างสูงกว่า (10-30 ลูเมน/วัตต์) หลอดนี้ได้ให้แสงที่มีอุณหภูมิสีสูงและด้วยขนาดที่เล็กกว่า ใช้งานได้เต็มที่กับระบบของแสงซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าในแง่ของวิธีที่หลอดทอดแสงที่ปลดปล่อยออกมา ในการออกแบบจะเลือกใช้หลอดไฟชนิดฮาโลเจน ซึ่งหลอดฮาโลเจนมีสเปกตรัมของแสงตั้งแต่ 650 นาโนเมตร ถึงประมาณ 950 นาโนเมตร สามารถเปล่งแสงออกมาได้ดีในช่วงสเปกตรัมของแสงอินฟราเรด ใกล้เคียงกับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ อีกทั้งหลอดฮาโลเจนยังมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดไส้ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิจัยคุณสมบัติในส่วนสเปคตรัมของหลอดแสดงในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 การปล่อยสเปคตรัมแสงของหลอดฮาโลเจน

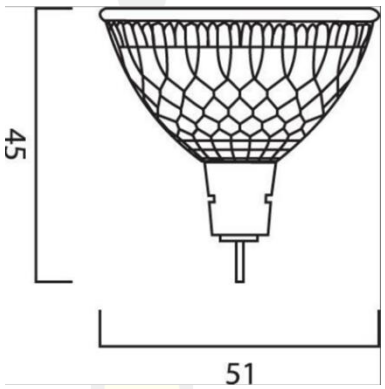
3.3.2 การออกแบบห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การออกแบบจะใช้โปรแกรม ไดอะลักซ์ (Dialux) โดยเป็นโปรแกรมของบริษัท DIAL ในการคำนวณและออกแบบระบบจำลอง รวมไปถึงคำนวณแสงสว่าง เพื่อได้ค่าตามวัตถุประสงค์การวิจัยและให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด โดยกำหนดข้อมูลของห้องทดสอบตามตารางที่ 1

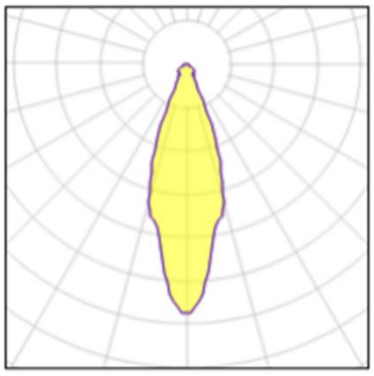
ตาราง 1 ข้อมูลต้นแบบห้องทดสอบ

ขนาดห้องทดสอบ	กว้าง	60 ซม.
	ยาว	60 ซม.
	สูง	50 ซม.
ชนิดผนังห้องทดสอบ	ด้านหน้า	ซีเมนต์บอร์ด
	ด้านข้าง	ซีเมนต์บอร์ด
	ด้านหลัง	ซีเมนต์บอร์ด
	ด้านบน	ไม้อัด
ระยะห่างจากหลอดไฟกับพื้นที่ทดสอบ		20 ซม.
ชนิดของหลอดไฟ		SYLVANIA R 011 REFLECTORLAMP QR51 GU/GX 5.3 + 50W/38dg

เลือกใช้หลอดไฟสำหรับห้องทดสอบ คือ หลอดไฟยี่ห้อ SYLVANIA R 011 REFLECTORLAMP QR51 GU/GX 5.3 + 50W/38dg มีข้อมูลดังภาพประกอบ 16-17 และตาราง 3.2



ภาพประกอบ 16 แสดงขนาดทางเลขาคณิตของหลอดไฟ

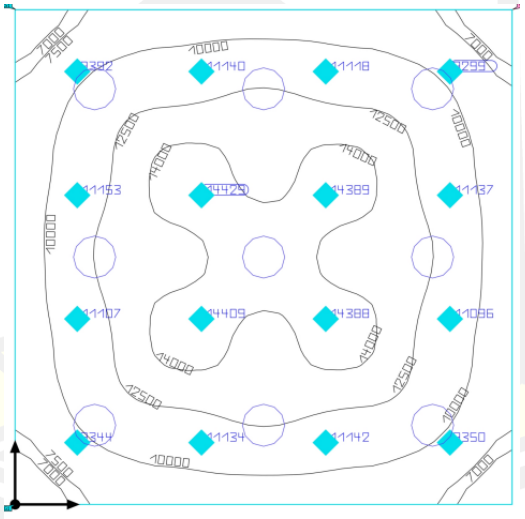


ภาพประกอบ 17 แสดงมุมของแสงจากหลอดไฟ

ตาราง 2 แสดงข้อมูลของหลอดที่ใช้สำหรับจำลองแสงอาทิตย์เทียม

ชนิดของหลอด	ฮาโลเจน
กำลังไฟฟ้าของหลอด	35 วัตต์
ฟลักซ์ส่องสว่าง	650 ลูเมน
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง	15 ลูเมน/วัตต์
สีของแสง	3000 เคลวิน
ดัชนีวัดค่าความถูกต้องของสี	99
อัตราส่วนของแสงสว่าง	92%
มุมของแสง	38 องศา

เมื่อกำหนดค่าต่างๆและเลือกหลอดไฟแล้วจะป้อนข้อมูลลงในโปรแกรมไดอะลักซ์เพื่อจำลองระบบส่องสว่างของห้องทดสอบแสงอาทิตย์เทียมดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 ผลการจำลองระบบส่องสว่างด้วยโปรแกรมไดอะลักซ์

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยการใช้อบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจร โดยทั่วไปนั้นการตากแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เกษตรกรจะใช้วิธีการแบบเดิมคือการตากแห้งแบบผึ่งแดด ซึ่งส่วนมากจะพบกับปัญหาการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและเกิดการเสียหายจากแมลงต่างๆ เป็นต้น ในส่วนของการทดสอบนั้นจะมีวิธีการตามหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

สมุนไพรฟ้าทะลายโจรจัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Acanthaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ : Andrographis paniculata (Burm.f.) Wall ex Nees.) มีถิ่นกำเนิดในอินเดียและศรีลังกา เป็นพืชล้มลุกที่มีอากาศร้อนชื้นและยังเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนซุย ลำต้นสูงประมาน 30-70 เซนติเมตร ในส่วนของการเตรียมตัวอย่างสมุนไพรฟ้าทะลายโจรจะใช้สมุนไพร น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เข้าตู้อบสมุนไพรเพื่อทำการทดลองการทำงานของเครื่องอบสมุนไพรรวมไปถึงการนำเอาสมุนไพรฟ้าทะลายโจรหลังจากการอบแล้วเสร็จไปทดสอบค่าความเข้มข้นของตัวยาที่มีอยู่ในสมุนไพรฟ้าทะลายโจรนี้

3.4.2 เครื่องมือวัด

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจร ข้อมูลที่ควรจะทราบคือ น้ำหนักของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรก่อนการเข้าอบและหลังการอบ ความชื้นก่อนการเข้าอบและหลังการอบ อุณหภูมิภายในและภายนอกเครื่องอบสมุนไพร ค่าความสว่างของหลอดฮาโลเจน และค่าความชื้น เครื่องมือที่ใช้มีดังนี้

1. เครื่องวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในภายนอกเครื่องอบ

จากภาพประกอบ 19 โมดูลเซนเซอร์ DHT22 วัดอุณหภูมิและค่าความชื้นในตัวเดียว มีความแม่นยำสูง มีตัวต้านทาน Pull up มาแล้วสามารถต่อขาทดลองได้เลยและออกแบบมาเพื่อวัดได้ให้ค่าที่แม่นยำกว่าโมดูลเซนเซอร์ รุ่น DHT11

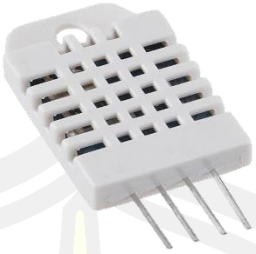
1) ความแม่นยำความชื้น ± 2%RH(สูงสุด±5%RH); อุณหภูมิ ± 0.2 องศาเซลเซียส

2) ความละเอียดหรือความไวความชื้น 0.1%RH; อุณหภูมิ 0.1 องศาเซลเซียส

3) ความชื้นซ้ำได้±1%RH; อุณหภูมิ ±0.2 องศาเซลเซียส

4) ฮิสเทรีซิสความชื้น ±0.3%RH

5) ระยะเวลาการตรวจจับ เฉลี่ย: 2s



ภาพประกอบ 19 เครื่องวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในภายนอกเครื่องอบ[21]

2. เครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง

เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง BH1750 เป็นโมดูลเซ็นเซอร์วัดค่าความสว่างโดยให้ค่าความสว่างที่วัดได้มีความแม่นยำ โดยมีคุณสมบัติทางเทคนิค ดังนี้

1) ใช้ไอซี BH1750FVI ของบริษัท ROHM SEMICONDUCTOR

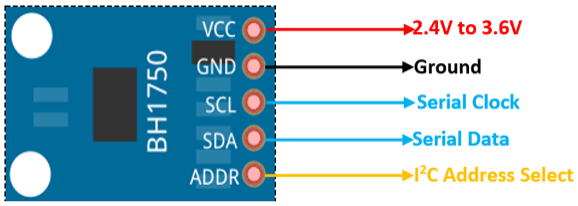
2) สามารถวัดความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 1-65535 lx ความละเอียด 16 บิต

3) ใช้ไฟเลี้ยง 3V-5V

4) ใช้การเชื่อมต่อแบบ I2C ความถี่สูงสุด 400 kHz

5) มีขา ADD สำหรับเลือก Address ของบอร์ดได้ 2 ค่า

6) เชื่อมต่อสัญญาณโดยตรงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ระบบไฟ 3.3V และระบบไฟ 5V ได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านวงจรปรับระดับแรงดัน ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 เครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง [22]

4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital scale)

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดที่ใช้บอกน้ำหนักของวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ สามารถแสดงหน่วยวัดได้หลายหน่วย เช่น กรัม (g) ออนซ์ (oz) ปอนด์ (lb) กิโลกรัม (Kg) เป็นต้น การใช้เครื่องชั่งจะช่วยในการวัดปริมาณน้ำหนักได้อย่างละเอียดและแม่นยำ โดยการใช้เครื่องชั่งดิจิตอลนิยมนำมาใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ เครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ และเครื่องชั่งในภาคอุตสาหกรรม

เครื่องชั่งดิจิตอลยี่ห้อ CST รุ่น CDR-3 เป็นเครื่องชั่งที่มีการแสดงตัวเลขแบบประมวลผล โดยอาศัยหลักการทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำงานจากแผงวงจรเชื่อมต่อเชื่อมกับน้ำหนัก (Load cell) เหมาะสมกับงานที่ต้องการควบคุมความแม่นยำและความเร็วในการทำงาน รายละเอียดทางเทคนิคดังนี้

1) สามารถวัดได้เต็มพิกัดกำลังอยู่ที่ 3 กิโลกรัม ความละเอียดในการอ่าน 0.1 กรัม

2) มีตัวเลข LED แสดงสถานะบนหน้าจอ ขนาด 0.56 นิ้ว

3) มีเสียงแจ้งเตือนเมื่อมีน้ำหนักเกินค่าที่ตั้งไว้

4) มีไฟแจ้งเตือนเมื่อแบตเตอร์รีอ่อน

5) มีโปรแกรมทำงานหักค่าภาชนะ

ดังภาพประกอบ 21

ภาพประกอบ 21 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล [23]

5. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เกิดจากคำ 2 คำผสมกัน นั่นคือ Multi ซึ่งแปลว่า หลากหลาย, มากมาย และ Meter หมายถึง เครื่องวัด เมื่อนำทั้งสองคำมารวมกันจึงหมายถึง เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดได้หลายค่า เช่น แรงดัน (Voltage) กระแส (Current) ความต้านทาน (Resistance) ดังภาพประกอบ 22

ภาพประกอบ 22 มัลติมิเตอร์ [24]

3.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ฟ้าทะลายโจร ชื่อทางวิทยาศาสตร์ Andrographis paniculata (Burm.f.) Wall.ex Nees. ชื่อวงศ์ ACANTHACEAE

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ฟ้าทะลายโจรเป็นพืชล้มลุก ลำต้นตั้งตรงสูงประมาน 30-70 เซนติเมตร ปลายกิ่งเป็นเหลี่ยม การแตกกิ่งจะแตกกิ่งเล็กด้านข้างจำนวนมากประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ใบ เป็นใบเดี่ยวออกเรียงตรงข้ามกันลักษณะใบเป็นรูปไข่รียาว โคนใบแคบและปลายใบแหลมแผ่นใบเรียงเกลี้ยงมีสีเขียว

2. ดอก ฟ้าทะลายโจรออกดอกเป็นช่อตามซอกใบและปลายกิ่งใบดอกจะมีขนาเล็ก มีสีขาว กลีบรองดอกมี 5 กลีบ กลีบดอกมี 5 กลีบ โคนติดกันเป็นหลอดปลายแยกเป็น 2 ทาง กลีบล่างมี 2 กลีบ อับเกสรมีสีม่วงแดง

3. ผล มีลักษณะคล้ายฝักของผลต้อยติ่งแต่มีขนาดเล็กเมื่อฝักแก่จะแตกออกเป็น 2 ซีก ทำให้มองเห็นเมล็ดวางอยู่ในผลได้ชัดปลายแหลมเมล็ดในมีสีน้ำตาลอ่อน

ประโยชน์ทางยา

1. ใบ มีรสขม สามารถนำมาบดผสมน้ำมันพืชทาแผลน้ำร้อนลวกได้ ใบสดนำมาเคี้ยวหรือต้มดื่มแก้อาการคออักเสบ เจ็บคอ

2. ต้น นำมาตากแห้งใช้เป็นยาแก้ธาตุไม่ปรกติ บำบัดโรคที่เกี่ยวกับทางเดินอาหารและโรคมาลาเรีย เป็นยำบำรุงกำลังและเป็นยาขับน้ำเหลือง ลักษณะต้นสมุนไพรฟ้าทะลายโจรดังภาพประกอบ 23

ภาพประกอบ 23 แสดงลักษณะทางการภาพของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร [25]

3.6 การหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียก ณ เวลาต่างๆ

การอบแห้งสมุนไพรฟ้าทะลายโจรโดยปกติอุณหภูมิของการอบจะมีค่าในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส เมื่ออบแล้วเสร็จตามเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม มวลแห้งที่ได้จะนำมาคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียก โดยใช้สูตร

$$M(t) = \frac{\mathrm{m_p(t) - m_x}}{\mathrm{m_p(t)}} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ $M(t)$ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลา t(%)

$\mathrm{m_p(t)}$ คือ มวลของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรก่อนทำการอบแห้ง

$\mathrm{m_x}$ คือ มวลของสมุนไพรฟ้าทะลายโจ

บทที่ 4
ผลการทดลอง

เมื่อได้ทำการออกแบบเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรด้วยพีทีเอฟอีในบทที่ 3 แล้วจึงดำเนินการจัดสร้างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรด้วยพีทีเอฟอี รวมไปถึงการจัดสร้างห้องทดลองระบบแสงอาทิตย์เทียมขึ้นเพื่อการทดสอบและเก็บค่าต่างๆ ในบทนี้เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลดังต่อไปนี้

4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียม

1. ห้องทดสอบ ห้องทดสอบมีขนาด กว้าง 60 ยาว 60 สูง 50 ซม.

2. เซ็นเซอร์ Temperature และ Humidity การติดตั้งเซ็นเซอร์ติดตั้งที่บริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ทำการวัดค่า แล้วนำค่ามาเฉลี่ย

3. Power supply 12 โวลต์ 100 แอมป์ ทำหน้าที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ halogen ในห้องทดลองระบบแสงอาทิตย์เทียม

4. Multimeter ใช้วัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า

5. Lux meter ใช้วัดค่าความเข้มของแสงของหลอดฮาโลเจน

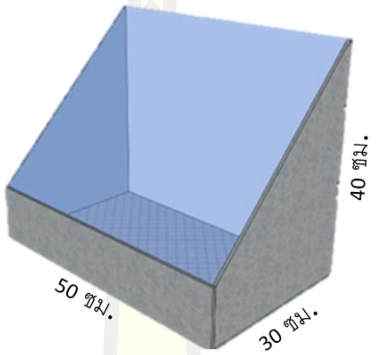
ดังภาพประกอบ 24

ภาพประกอบ 24 โครงสร้างและส่วนประกอบของห้องทดลองระบบแสงอาทิตย์เทียม

4.2 ส่วนประกอบและวิธีการสร้างเตาอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

4.2.1 เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก

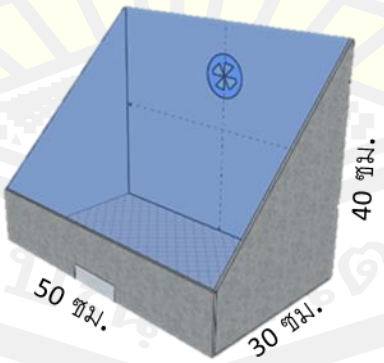
เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 30 x50 x 40 ซม. แผ่นหลังคาเป็นกระจกดังแสดงในภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกกระจก

4.2.2 เครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบระบบหมุนเวียนอากาศ

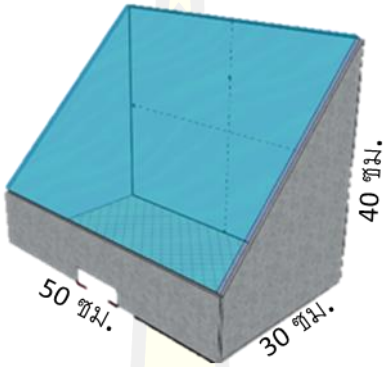
เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 40 x 50 x 30 ซม. แผ่นหลังคาเป็นกระจกและมีระบบ ระบบหมุนเวียนอากาศ เพื่อช่วยในการระบายความชื้นในขณะที่ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 26 แสดงเครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ

4.2.3 เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี

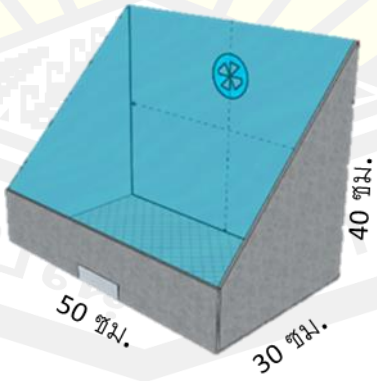
เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 40 x 50 x 30 เซนติเมตร แผ่นหลังคาเป็นพลาสติกพีทีเอฟอีบับเบิลเพื่อช่วยในการเก็บความร้อนในตัวเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรดังแสดงในภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี

4.2.4 เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรแบบพีทีเอฟอีร่วมกับระบบหมุนเวียนอากาศ

เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พลาสติกพีทีเอฟอี มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 40 x 50 x 30 ซม. แผ่นหลังคาเป็นพลาสติกพีทีเอฟอีบับเบิลและมีระบบหมุนเวียนอากาศ เพื่อช่วยในการระบายความชื้นในขณะที่ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรดังแสดงในภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 แสดงเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ

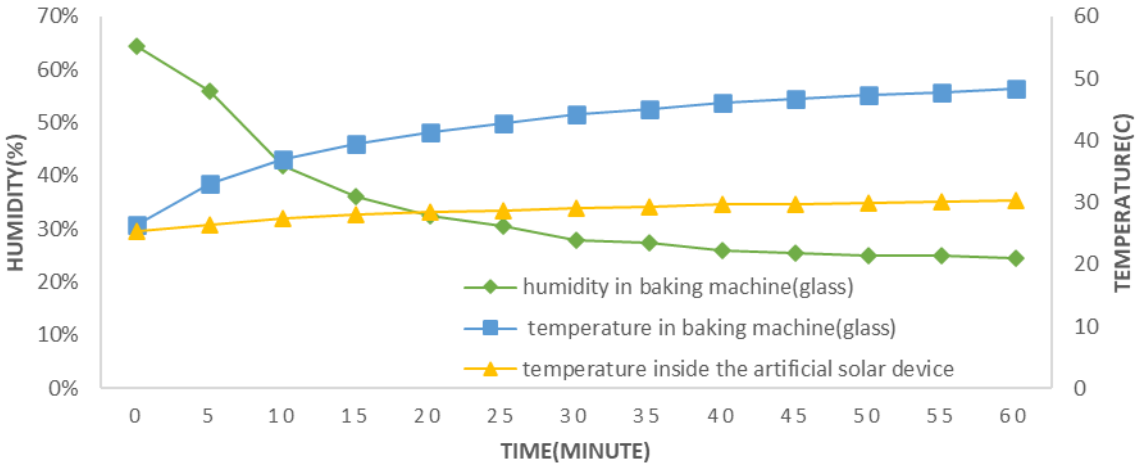
4.3 การทดสอบ

จะแบ่งการทดสอบตามลักษณะของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลักๆดังนี้

4.3.1 เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกกระจก

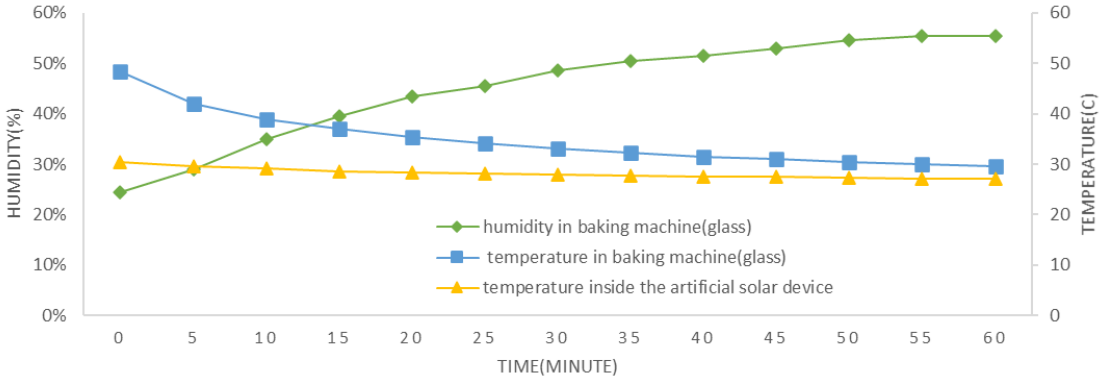
1. การทดสอบเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การทดสอบเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศจะเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองแสงอาทิตย์เทียม รวมไปถึงการเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบจะเก็บค่าทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ

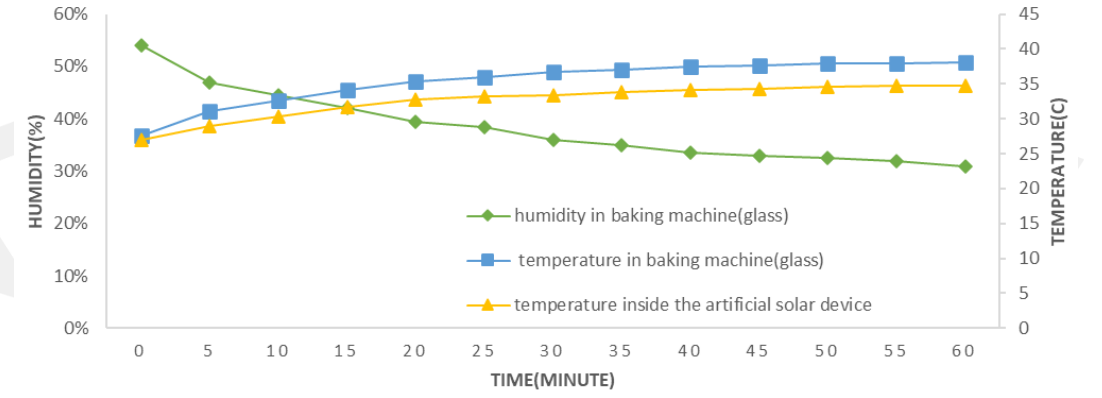
จากกราฟในภาพประกอบ 29 เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทดลองแสงอาทิตย์เทียมสูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบมีค่าสูงขึ้นและเมื่อทำการอบไปเรื่อย ๆ ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบจะส่งผลต่อความชื้นจะเห็นได้ว่าค่าความชื้นจะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จากความชื้นเริ่มต้นที่ 65% ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 28% หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อจะพิจารณาค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบ รวมไปถึงค่าความชื้นภายในเครื่องอบ



ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

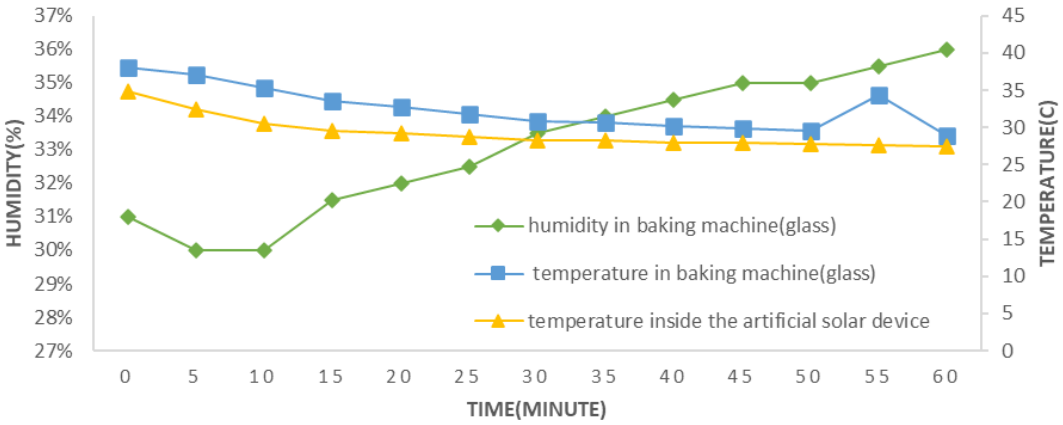
จากกราฟในภาพประกอบ 30 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะมีค่าลดลงมาเรื่อย ๆ รวมไปถึงค่าความชื้นภายในเครื่องอบ จะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นตอนปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเริ่มแรกอยู่ที่ 28% ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 56%

2. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทดสอบเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ จะเก็บค่าอุณหูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงการเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบ จะเก็บค่าทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น



ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกแบบ ระบบหมุนเวียนอากาศ

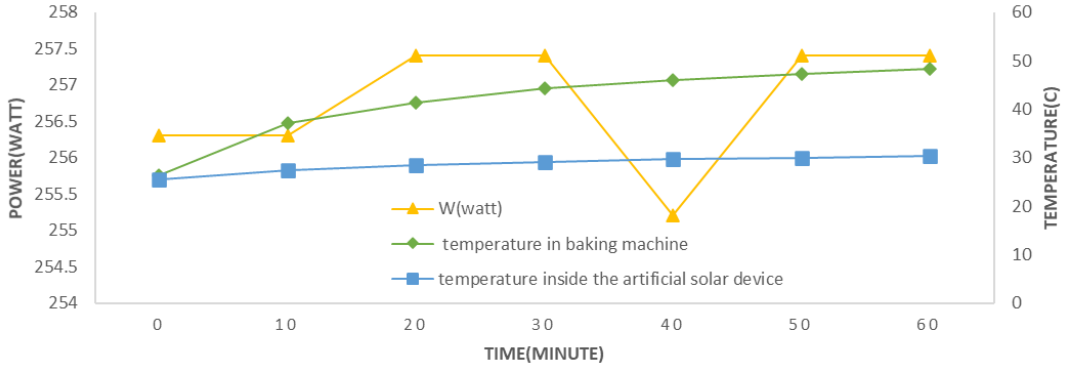
จากกราฟในภาพประกอบ 31 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายเครื่องอบมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของค่าความชื้นจะมีค่าลดลง จากค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 56% ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 30% หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อจะพิจารณาค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบ รวมไปถึงค่าความชื้นภายในเครื่องอบ



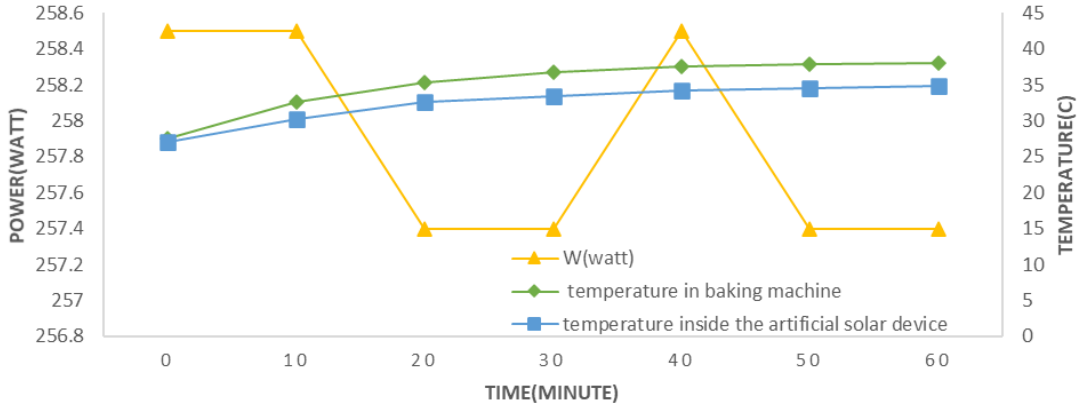
ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากกราฟในภาพประกอบ 32 หลังจากการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะมีค่าลดลงมาเรื่อย ๆ ในส่วนของค่าความชื้นภายในเครื่องอบจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก ความชื้นหลังการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอยู่ที่ 30% ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 36%

3. การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และมีระบบหมุนเวียนอากาศเทียบกับค่าอุณหภูมิทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 33-34



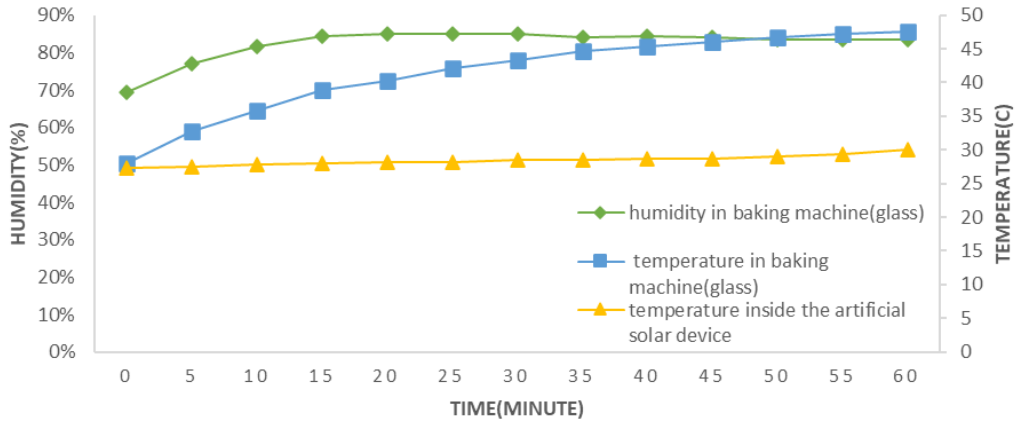
ภาพประกอบ 33 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ



ภาพประกอบ 34 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ

4. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

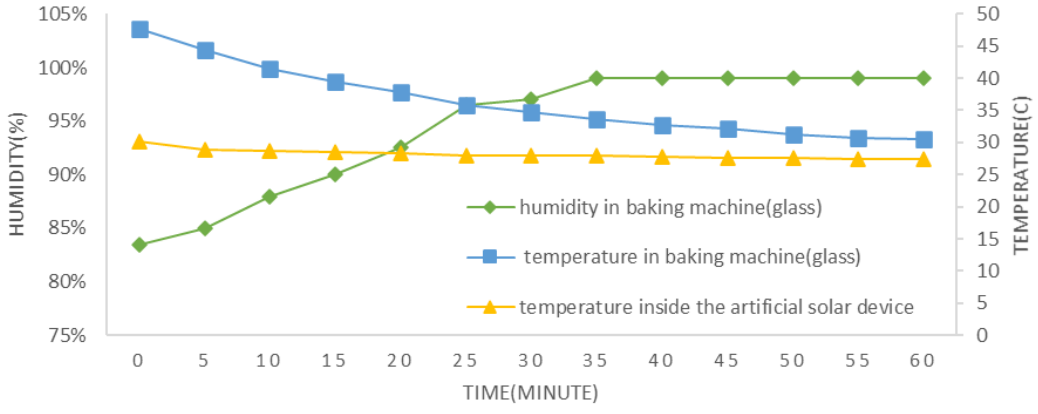
การทดลอง เครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร จะทำการเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงค่าความชื้นในเครื่องอบเพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมที่ส่งผลต่อความชื้นในสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 35 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 35 ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นด้วยและยังส่งผลให้ค่าความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรค่อยลดลง จากค่าน้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 42 กรัม

หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อจะพิจารณาค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบ รวมไปถึงค่าความชื้นภายในเครื่องอบ

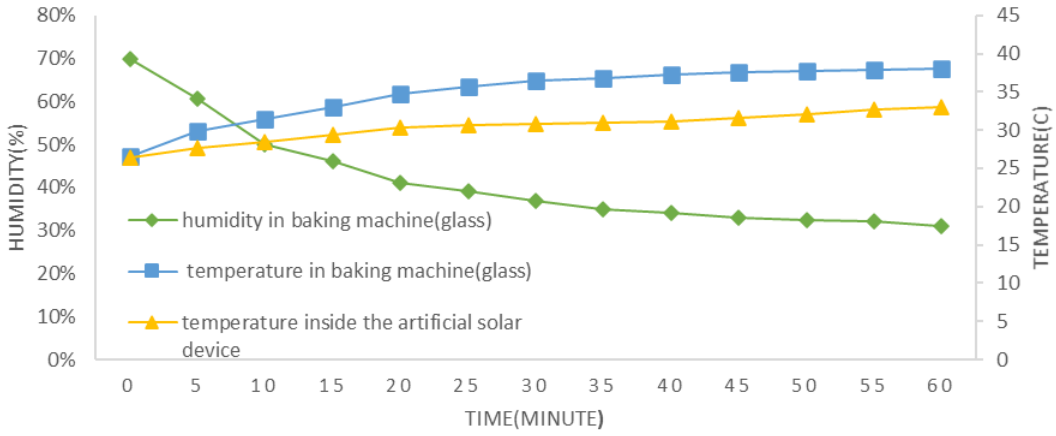


ภาพประกอบ 36 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากกราฟในภาพประกอบ 36 หลังทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม 1 ชั่วโมง แล้วเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพื่อพิจารณาการดูดกลับความชื้นภายในเครื่องอบ ผลปรากฏว่าค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพิ่มขึ้นจาก 84% เป็น 99%

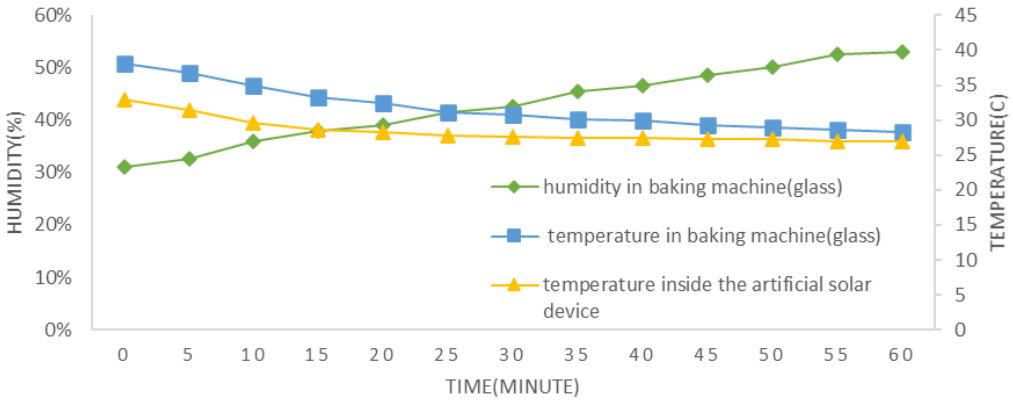
5. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การทดลองเครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรจะทำการเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงค่าความชื้นในเครื่องอบในทุกๆ 5 นาที เพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมที่ส่งผลต่อความชื้นในสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 37 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

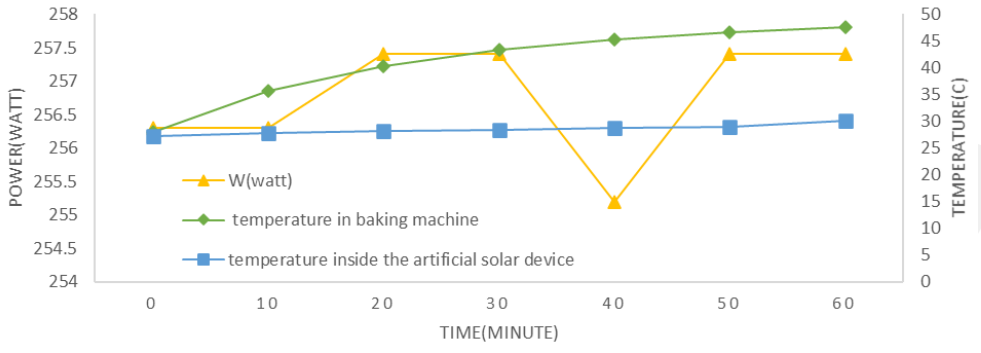
จากกราฟในภาพประกอบ 37 ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นด้วยและยังส่งผลให้ค่าความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรค่อยลดลง จากค่าน้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรอยู่ที่ 50 กรัม น้ำหนักสุดท้ายอยู่ที่ 38 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและเก็บค่าเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ



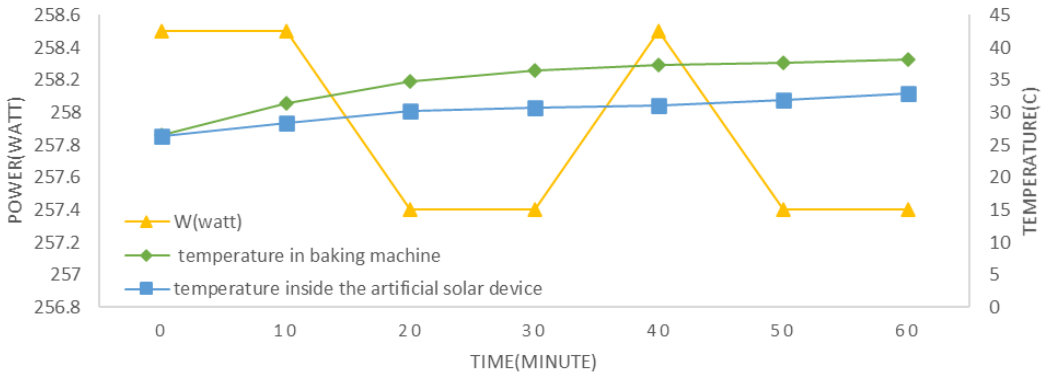
ภาพประกอบ 38 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากกราฟในภาพประกอบ 38 หลังทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม 1 ชั่วโมง แล้วเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพื่อพิจารณาการดูดกลับความชื้นภายในเครื่องอบ ผลปรากฏว่าค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพิ่มขึ้นจาก 31% เป็น 53%

6. การเปรียบเทียบค่ากระแสแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เทียบกับค่าอุณหภูมิ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 39-40



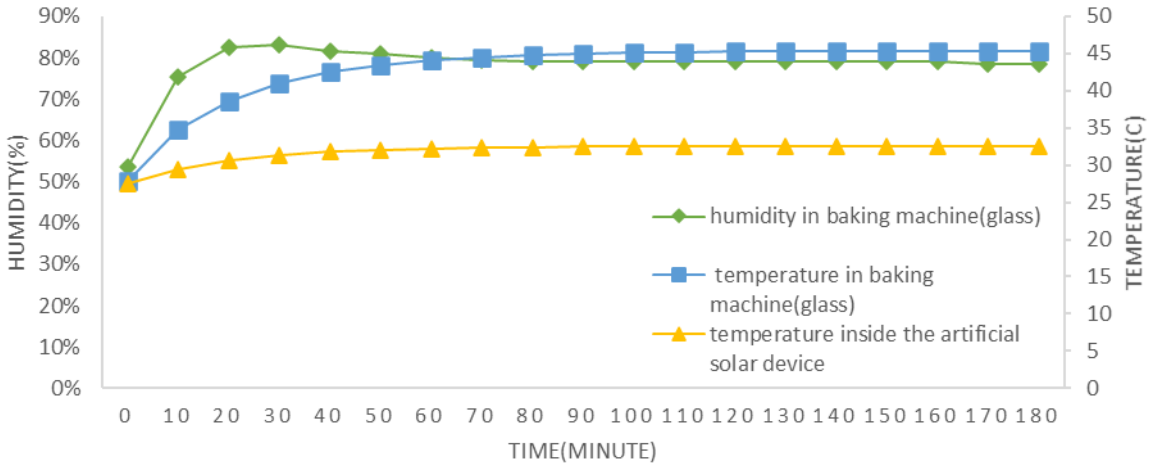
ภาพประกอบ 39 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 40 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

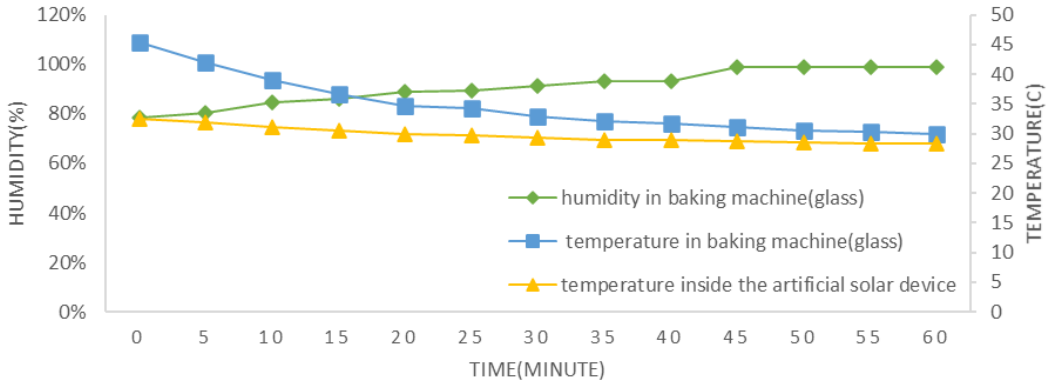
7. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การทดสอบ เครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร จะทำการเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงค่าความชื้นในเครื่องอบทำการเก็บค่าทุกๆ 5 นาที เพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมที่ส่งผลต่อความชื้นในสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 41 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 41 ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นด้วยและยังส่งผลให้ค่าความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรค่อยลดลง จากค่าน้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 41 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและเก็บค่าเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

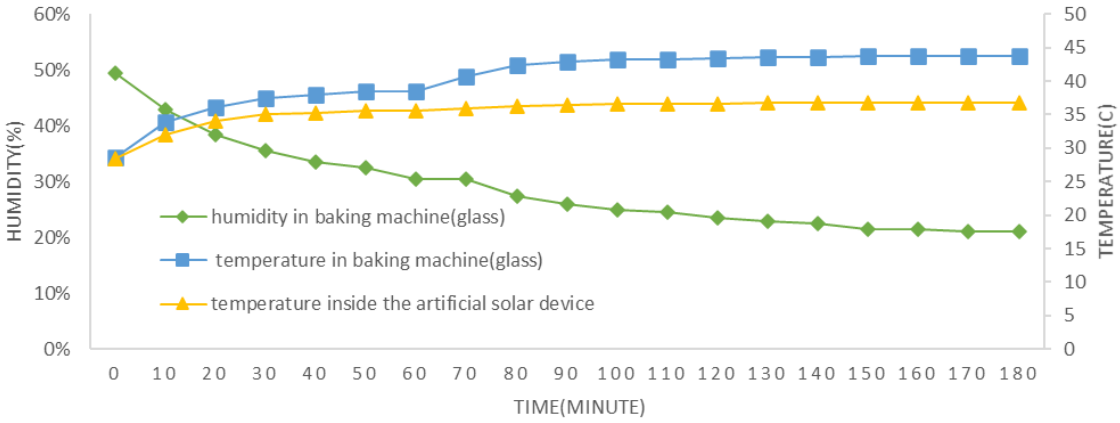


ภาพประกอบ 42 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากกราฟในภาพประกอบ 42 หลังทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม 1 ชั่วโมง แล้วเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพื่อพิจารณาการดูดกลับความชื้นภายในเครื่องอบ ผลปรากฏว่าค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพิ่มขึ้นจาก 78% เป็น 99%

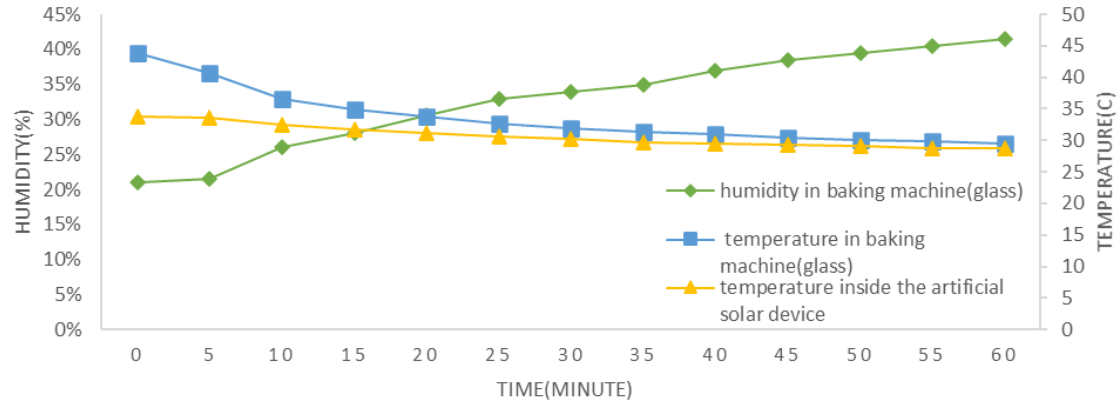
8. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การทดลองเครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร จะทำการเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงค่าความชื้นในเครื่องอบในทุกๆ 5 นาที เพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความชื้นในสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 43 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

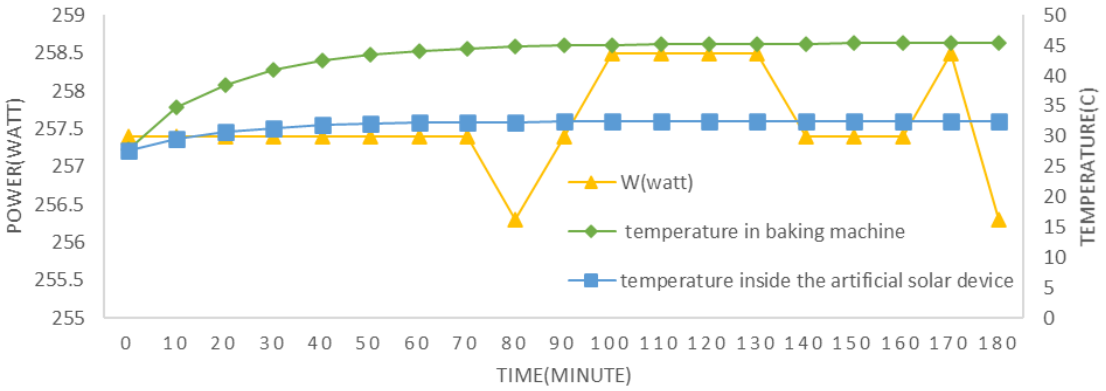
จากกราฟในภาพประกอบ 43 ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นด้วยและยังส่งผลให้ค่าความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรค่อยลดลง จากค่าน้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรอยู่ที่ 50 กรัม น้ำหนักสุดท้ายอยู่ที่ 34 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและเก็บค่าเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



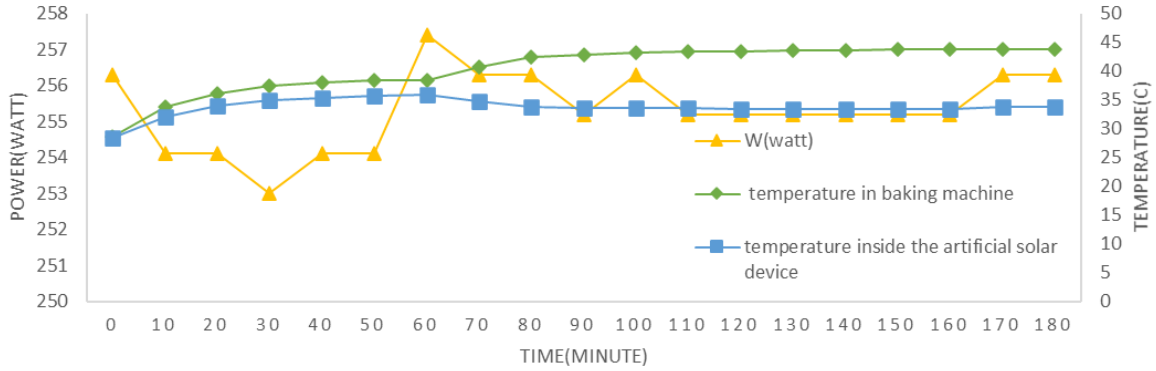
ภาพประกอบ 44 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากกราฟในภาพประกอบ 44 หลังทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม 1 ชั่วโมง แล้วเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพื่อพิจารณาการดูดกลับความชื้นภายในเครื่องอบ ผลปรากฏว่าค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพิ่มขึ้นจาก 21% เป็น 42%

9. การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรแบบกระจก และไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และมีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเทียบกับค่าอุณหภูมิเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 45-46



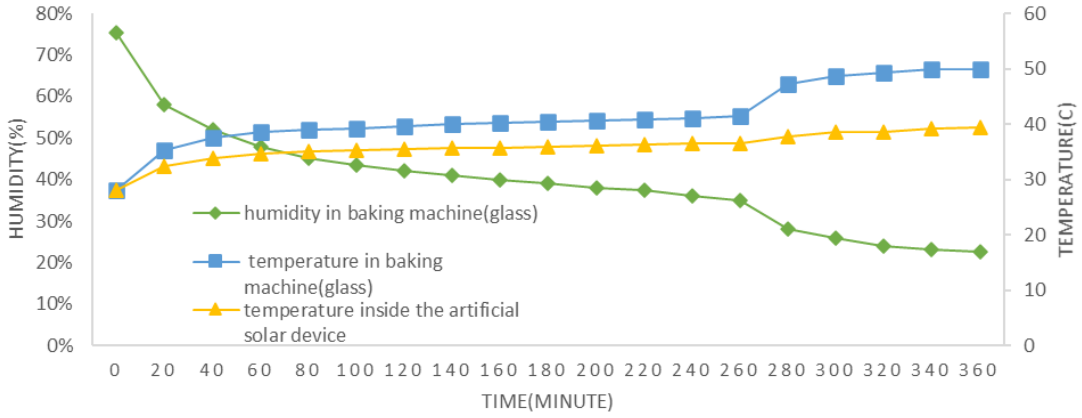
ภาพประกอบ 45 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 46 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

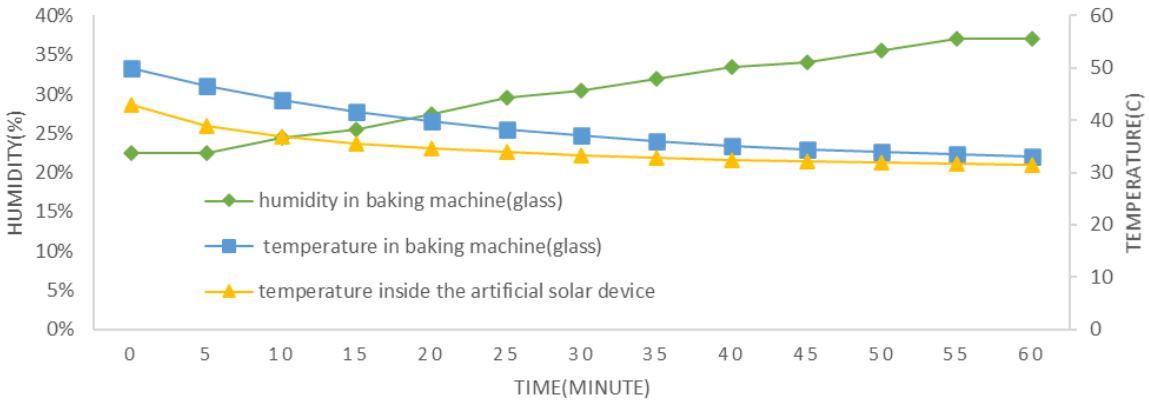
10. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

การทดสอบ เครื่องอบอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรจะทำการเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงค่าความชื้นในเครื่องอบในทุกๆ 5 นาที เพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมที่ส่งผลต่อความชื้นในสมุนไพรฟ้าทะลายโจร



ภาพประกอบ 47 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

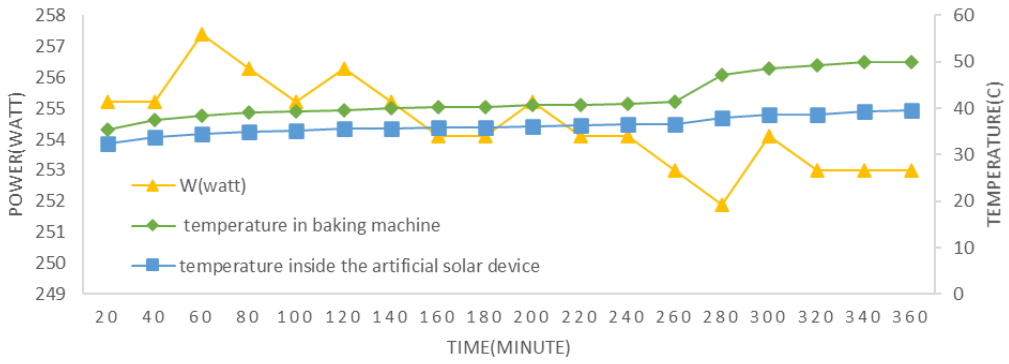
จากกราฟในภาพประกอบ 47 ทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นด้วยและยังส่งผลให้ค่าความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรค่อยลดลงจากค่าน้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 10 กรัม เก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 48 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากกราฟในภาพประกอบ 48 หลังทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม 1 ชั่วโมง แล้วเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมรวมไปถึงเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพื่อพิจารณาการดูดกลับความชื้นภายในเครื่องอบ ผลปรากฏว่าค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และค่าความชื้นภายในเครื่องอบเพิ่มขึ้นจาก 22% เป็น 36%

11. การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเทียบกับค่าอุณหภูมิ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 49

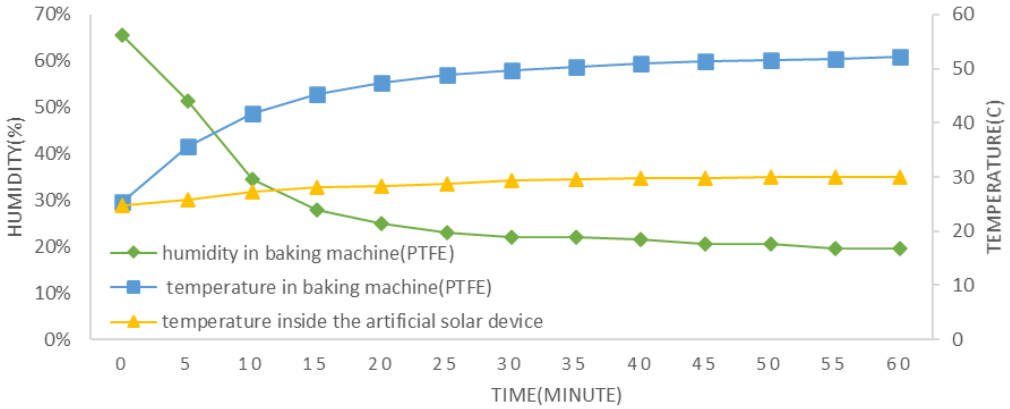


ภาพประกอบ 49 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.3.2 เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรแบบพีทีเอฟอี

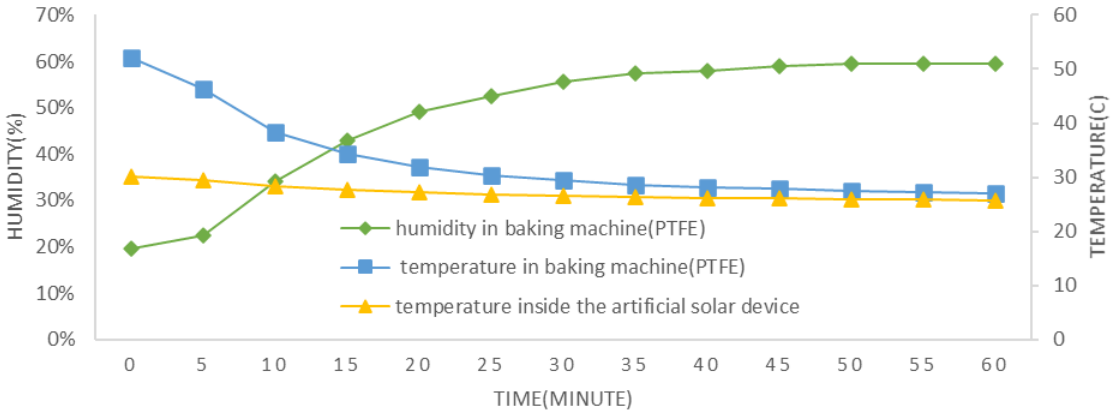
1. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การทดสอบเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทำการทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียม เพื่อเปรียบเทียบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะส่งผลอย่างไรต่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบรวมไปถึงการเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบและเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นว่าอุณหภูมิมีผลอย่างไรต่อความชื้นภายในเครื่องอบทำการเก็บค่าทุกๆ 5 นาที



ภาพประกอบ 50 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากราฟในภาพประกอบ 50 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมก็จะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 65% ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 19% หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและเก็บค่าเครื่องอบสมุนไพรแบบพีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

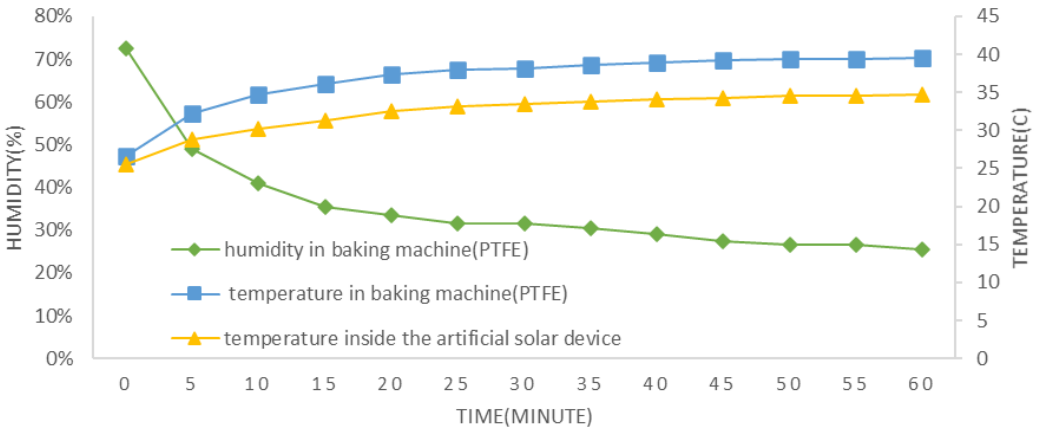


ภาพประกอบ 51 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากราฟในภาพประกอบ 51 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง จากความชื้น 19% เป็น 60%

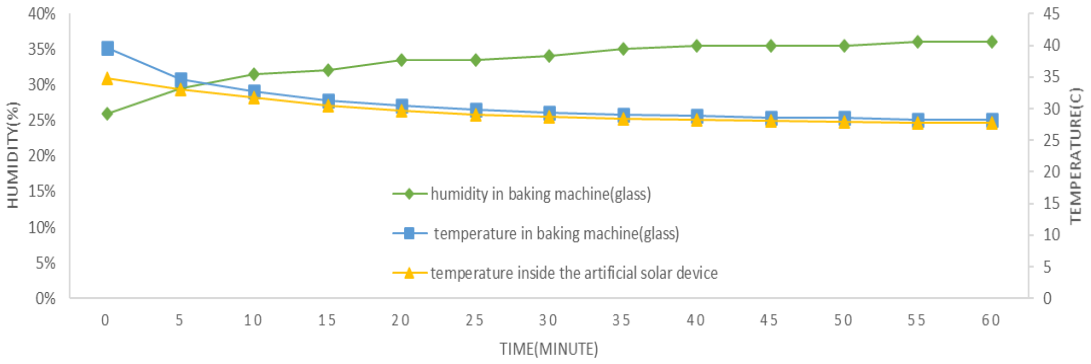
2. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การทดสอบเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทำการทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อเปรียบเทียบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะส่งผลอย่างไรต่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบ รวมไปถึงการเก็บค่าความชื้นภายในเครื่องอบและเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นว่าอุณหภูมิมีผลอย่างไรต่อความชื้นภายในเครื่องอบ ทำการเก็บค่าทุกๆ 5 นาที



ภาพประกอบ 52 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

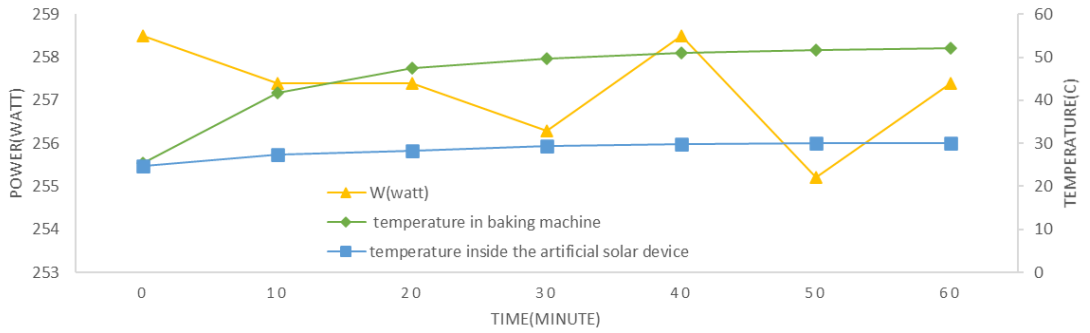
จากราฟในภาพประกอบ 52 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมก็จะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 73% ความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 26% หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม และเก็บค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



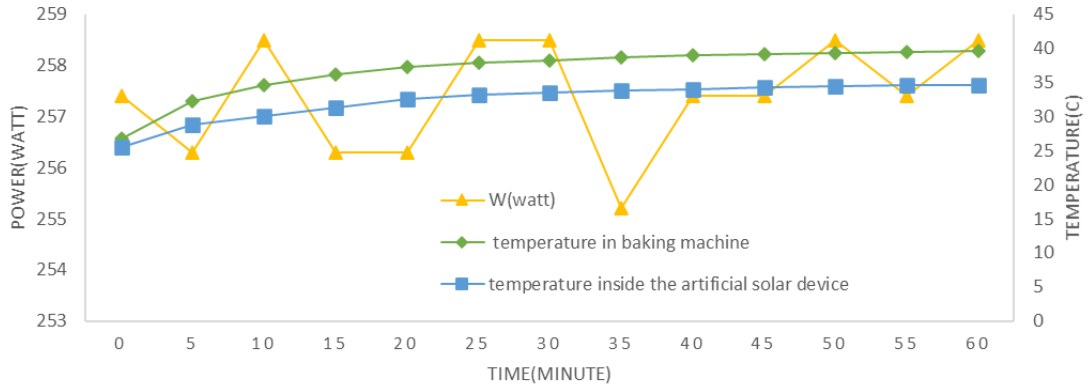
ภาพประกอบ 53 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีแบบและระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากราฟในภาพประกอบ 53 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลงจากความชื้น 26% เป็น 36%

3. การเปรียบเทียบค่ากระแสแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศเทียบกับค่าอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 54-55

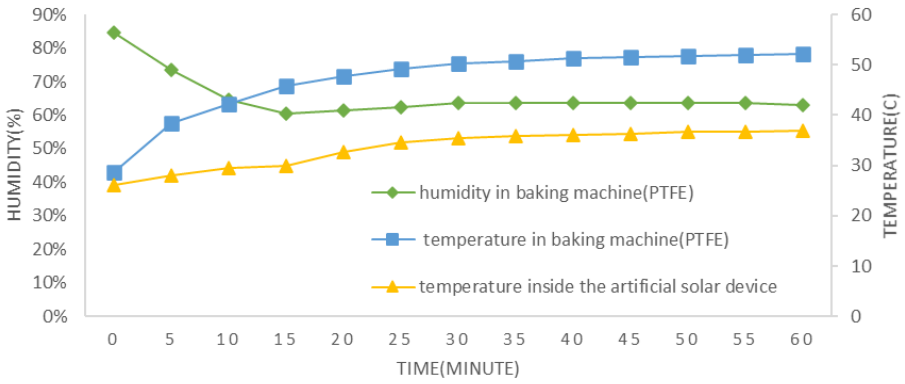


ภาพประกอบ 54 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



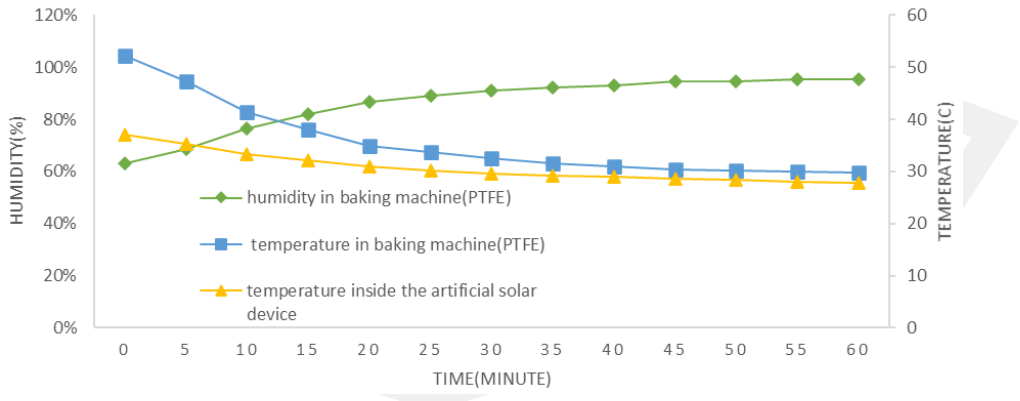
ภาพประกอบ 55 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. เครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 56 แดสงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

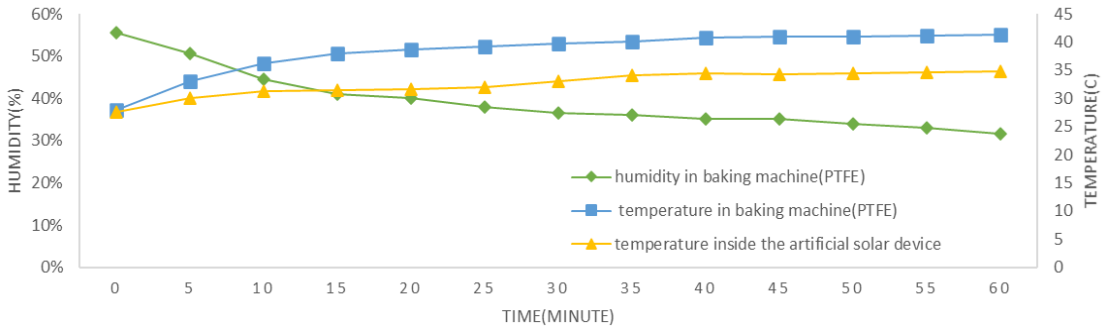
จากราฟในภาพประกอบ 56 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมก็จะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วยจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 85% ความชื้นสุดท้าย 62% น้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 44 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม และเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 57 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

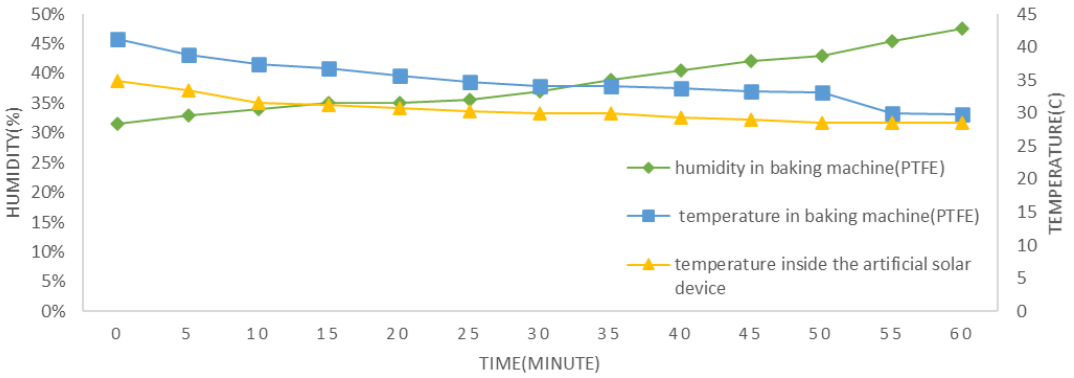
จากราฟในภาพประกอบ 57 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง จากความชื้น 62% เป็น 99%

5. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 58 แดสงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

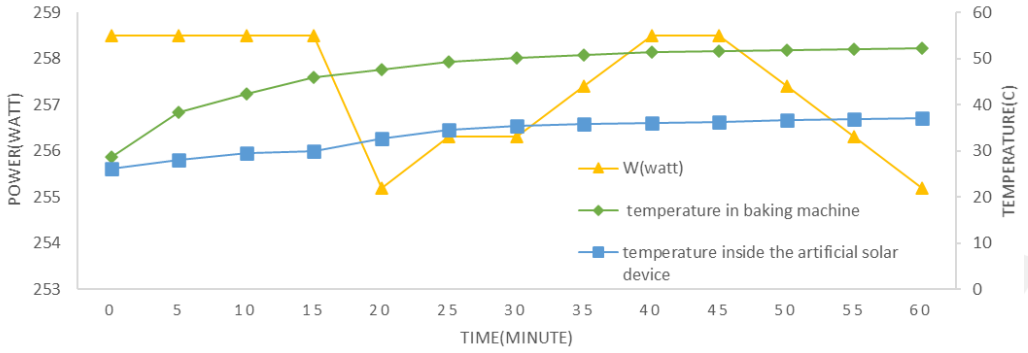
จากราฟในภาพประกอบ 58 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมก็จะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 56% ความชื้นสุดท้าย 31% น้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 34 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์และเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



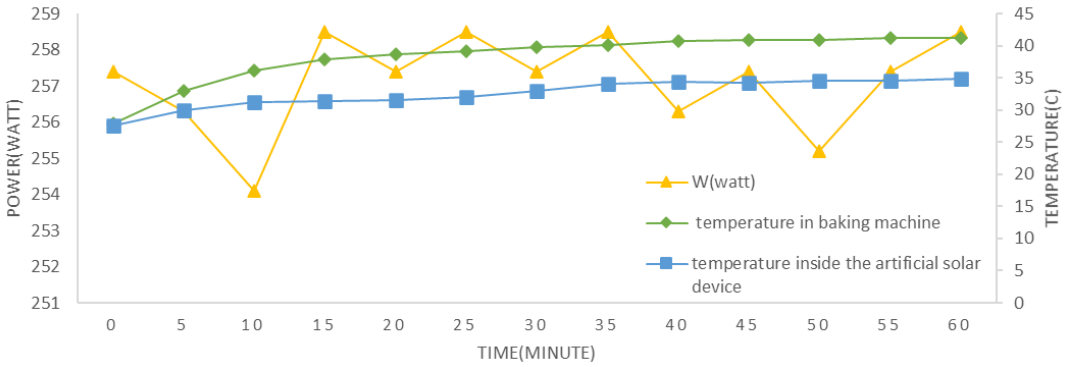
ภาพประกอบ 59 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากราฟในภาพประกอบ 59 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง จากความชื้น 32% เป็น 47%

6. การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเทียบกับค่าอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 60-61

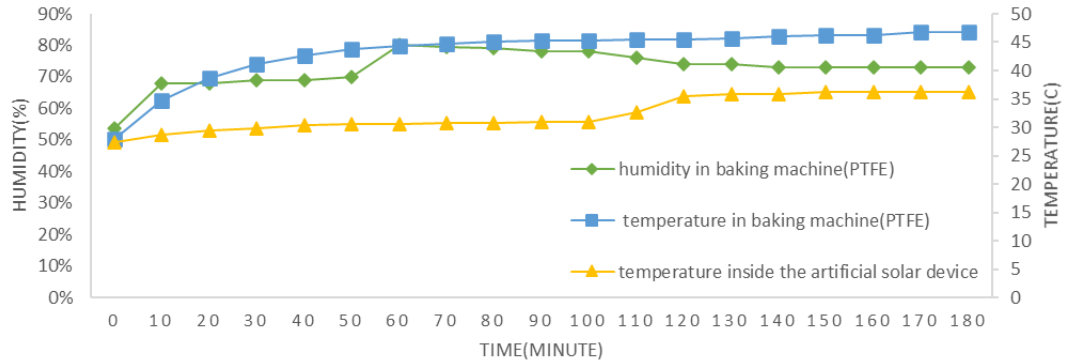


ภาพประกอบ 60 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



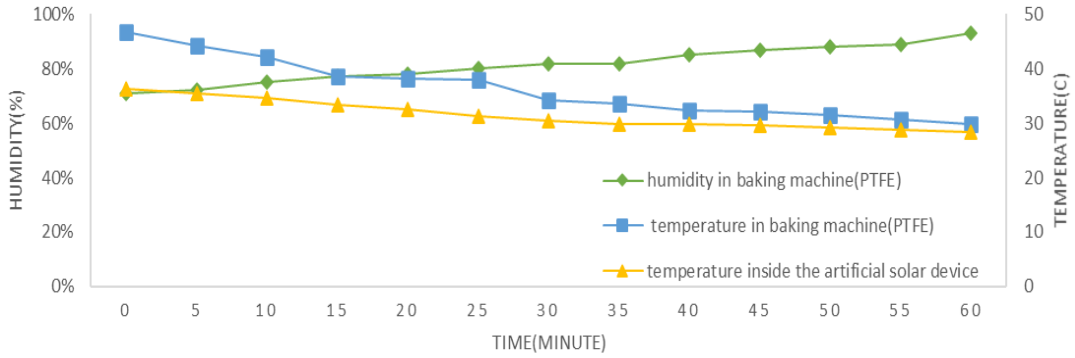
ภาพประกอบ 61 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 62 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

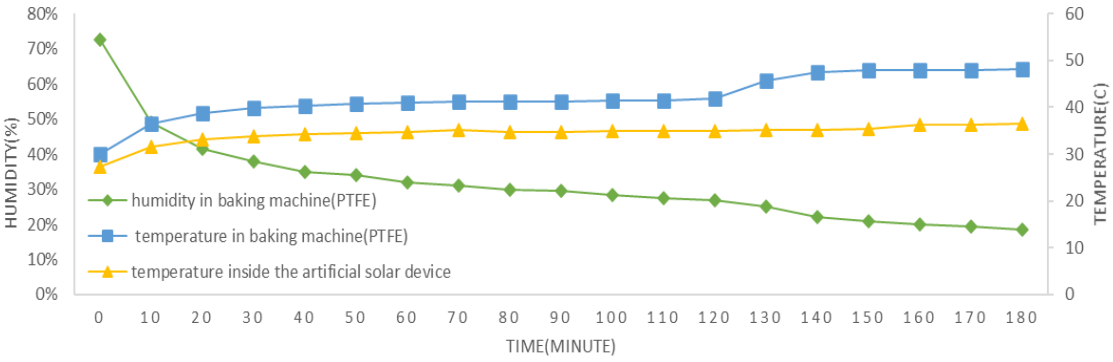
จากราฟในภาพประกอบ 62 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 55% ความชื้นสุดท้าย 72% น้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 41 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม และเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 63 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

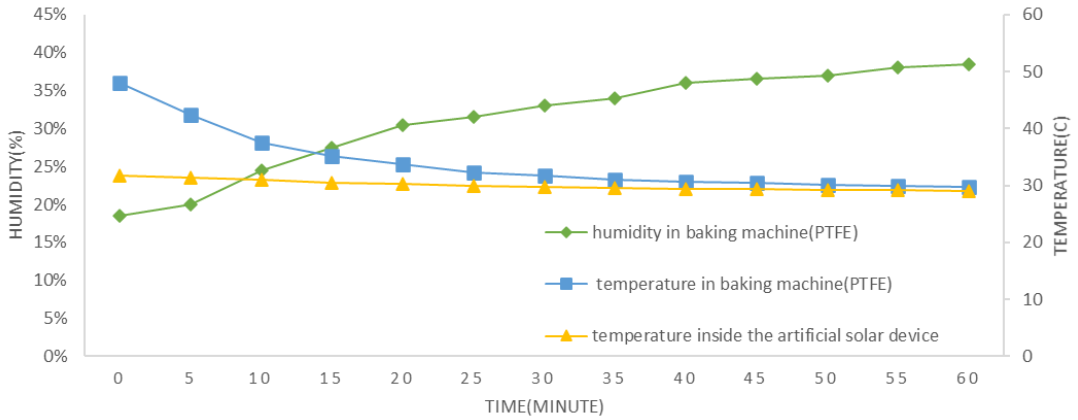
จากราฟในภาพประกอบ 63 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง จากความชื้น 72% เป็น 93%

8. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 64 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้ พีทีเอฟอี แบบ ระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจร ทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

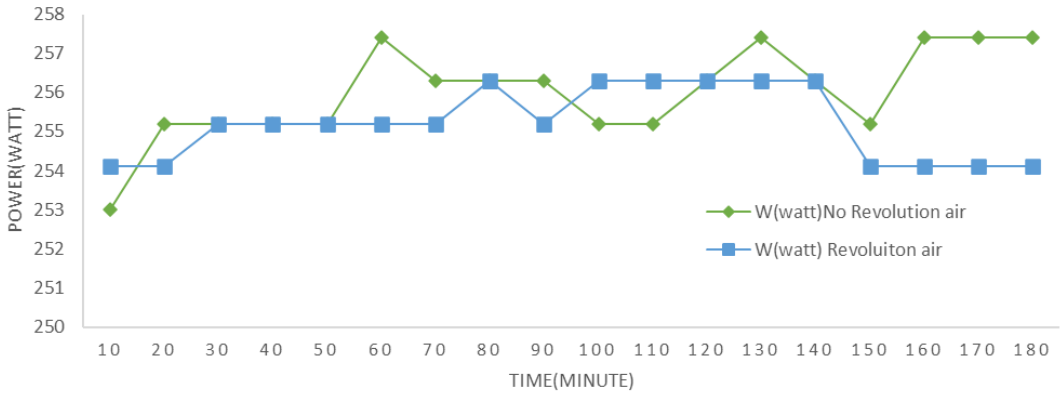
จากราฟในภาพประกอบ 64 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมก็จะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 72% ความชื้นสุดท้าย 18% น้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 24 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม และเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 65 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

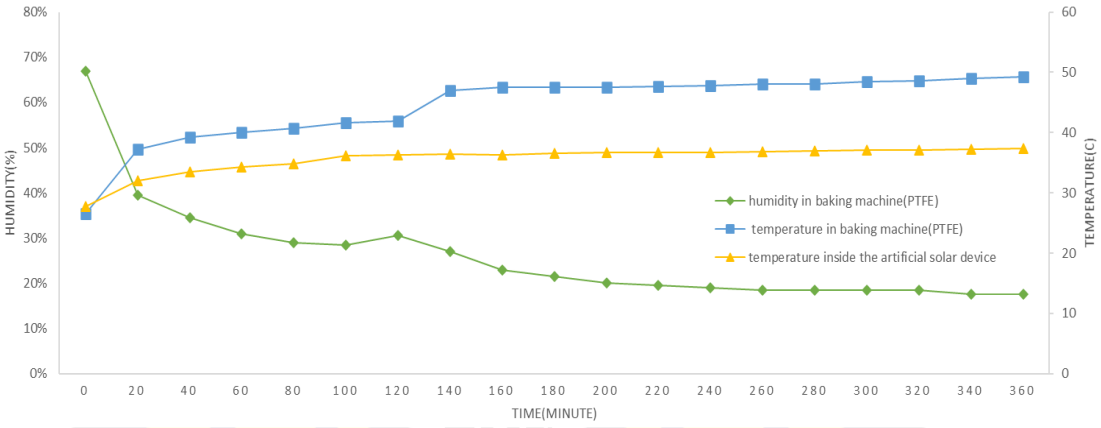
จากราฟในภาพประกอบ 65 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง จากความชื้น 18% เป็น 38%

9. การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี และไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 66



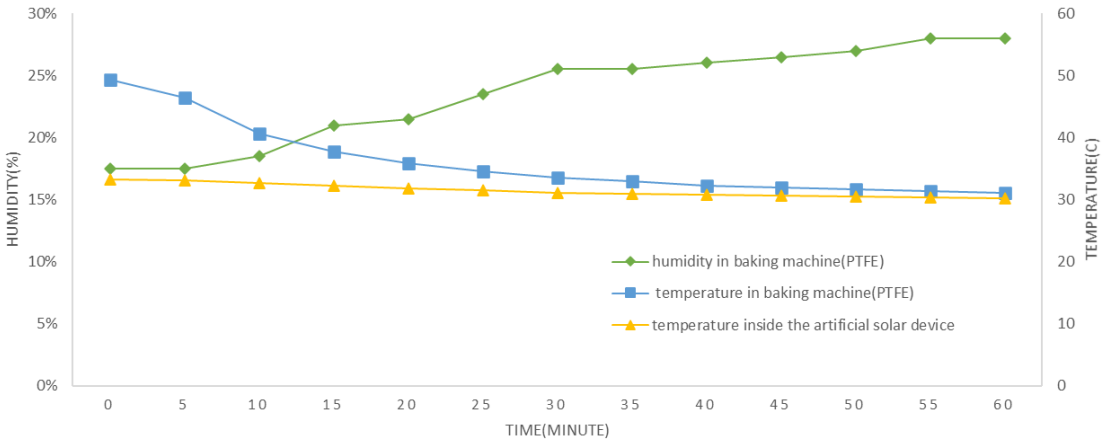
ภาพประกอบ 66 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

10. เครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 67 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

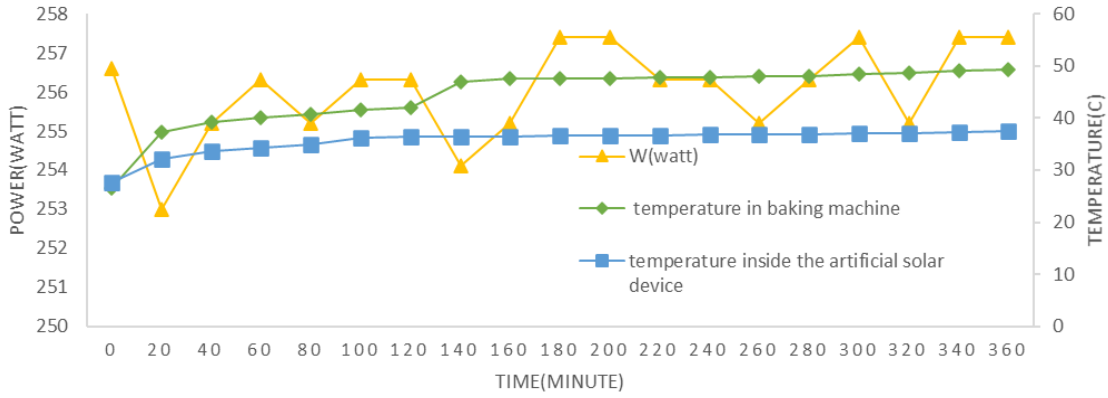
จากราฟในภาพประกอบ 67 เมื่อทำการเปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมอุณภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมก็จะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้อุณภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 68% ความชื้นสุดท้าย 18% น้ำหนักเริ่มต้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร 50 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 5 กรัม หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมและเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 68 แสดงกราฟค่าความชื้นและอุณหภูมิเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ (ปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียม)

จากราฟในภาพประกอบ 68 เมื่อทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบมีค่าลดลงและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมมี่ค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการดูดกลับความชื้นของตัวเครื่องเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลง จากความชื้น 18% เป็น 28%

11. การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเทียบกับค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 69

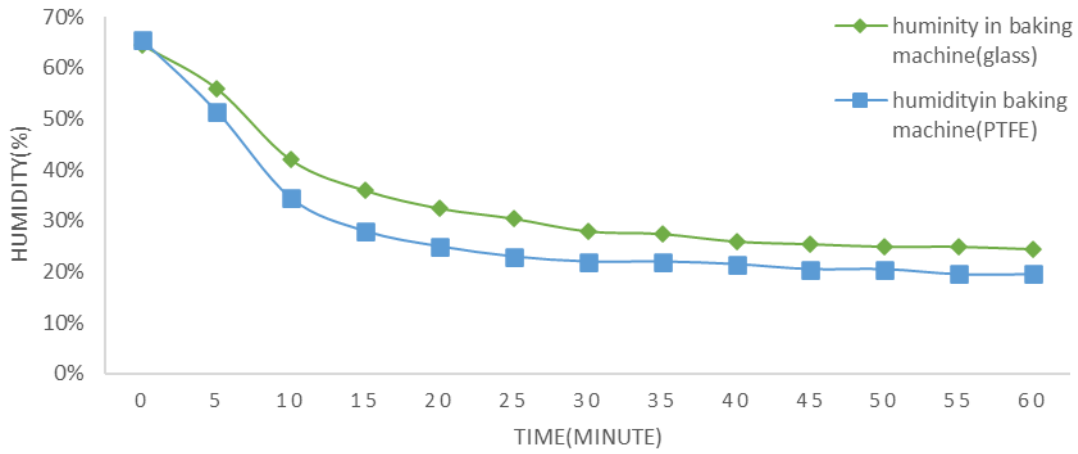


ภาพประกอบ 69 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเครื่องอบที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

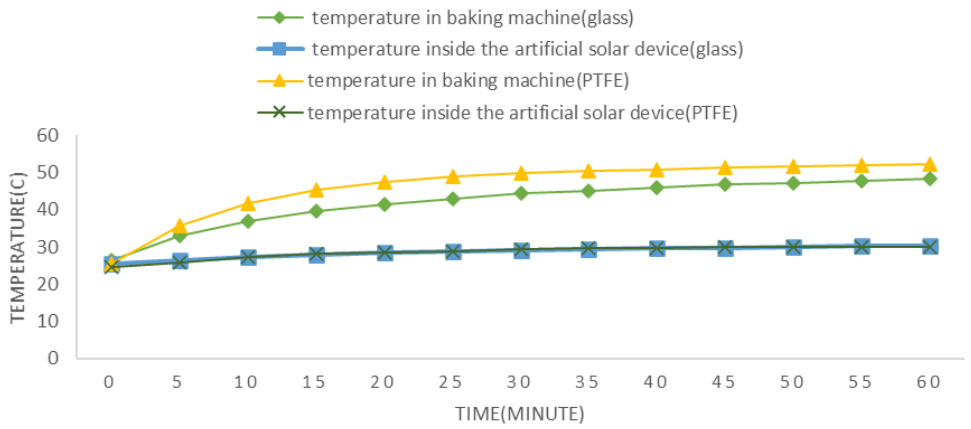
4.3.3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มี ระบบหมุนเวียนอากาศ และระบบหมุนเวียนอากาศ

1. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของ เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบแบบไม่มีผลิตภัณฑ์เพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณาจะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 70



ภาพประกอบ 70 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

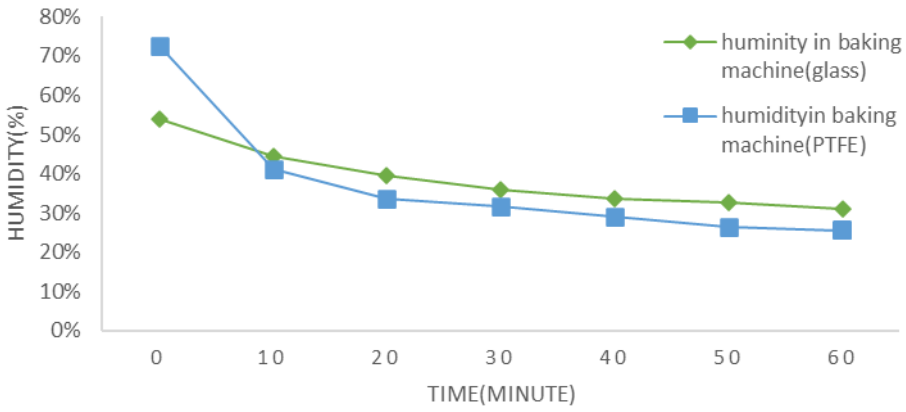


ภาพประกอบ 71 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

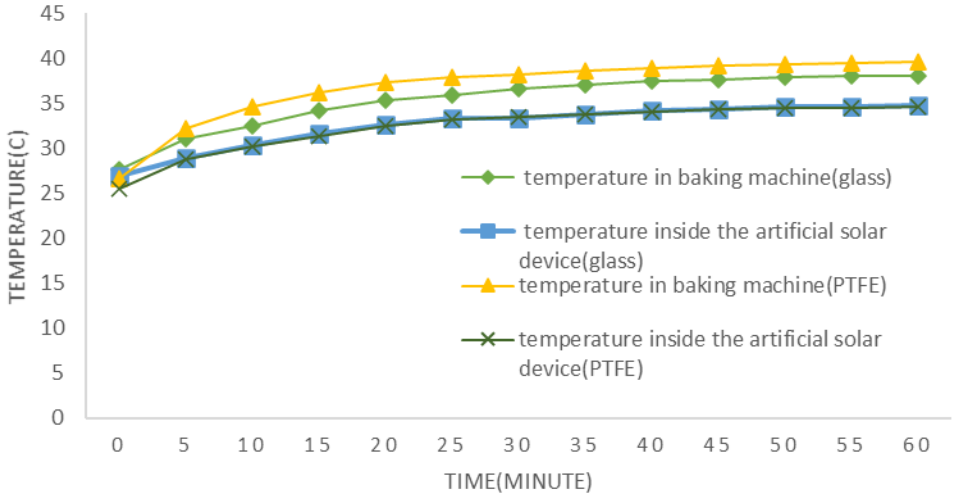
จากกราฟในภาพประกอบ 71 เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบและยังส่งผลให้ความชื้นภายในเครื่องอบลดลงด้วย โดยที่ความชื้นสุดท้ายหลังจากการทดลองอบไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความชื้นสุดท้ายของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก 25% และความชื้นสุดท้ายของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี 20%

13. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบแบบไม่มีผลิตภัณฑ์เพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณาจะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 72



ภาพประกอบ 72 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



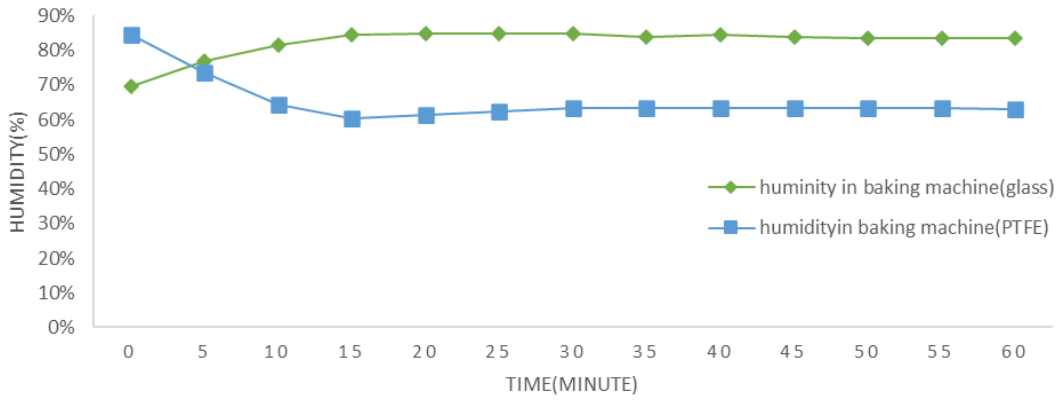
ภาพประกอบ 73 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 73 เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียม ระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมจะส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบและยังส่งผลให้ความชื้นภายในเครื่องอบลดลงด้วย โดยที่ความชื้นสุดท้ายหลังจากการทดลองอบไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความชื้นสุดท้ายของ

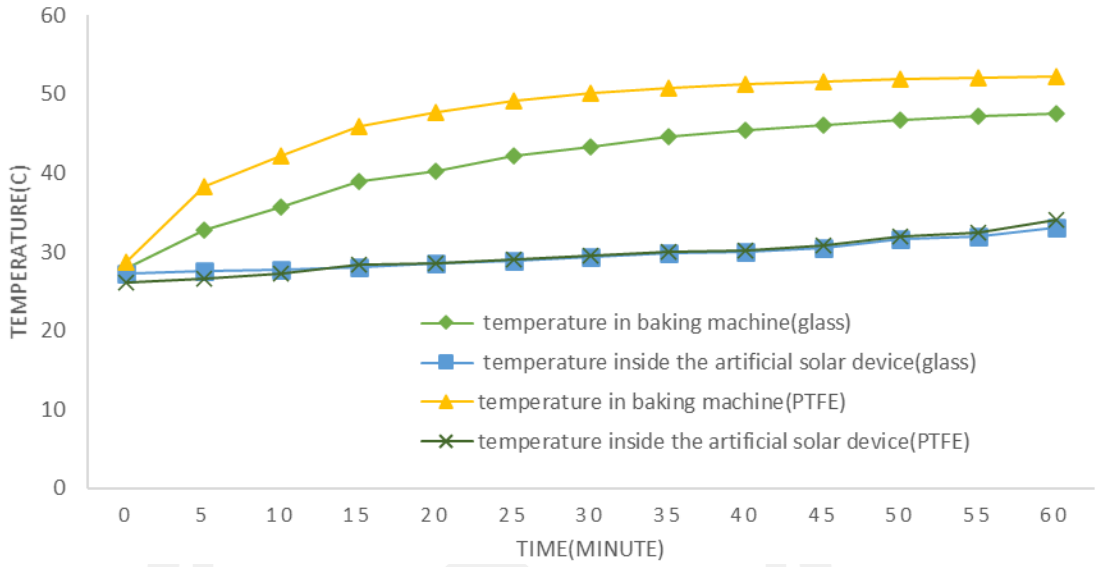
เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก 31% และความชื้นสุดท้ายของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี 26%

14. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณา จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 74



ภาพประกอบ 74 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

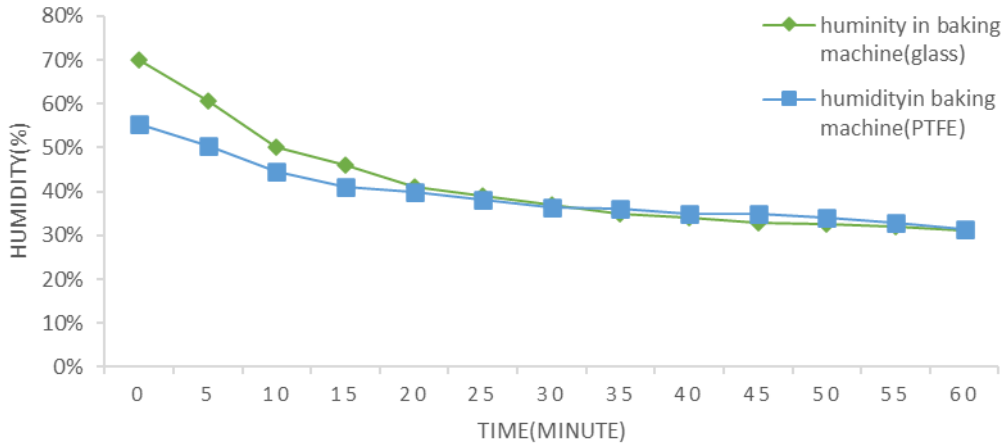


ภาพประกอบ 75 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

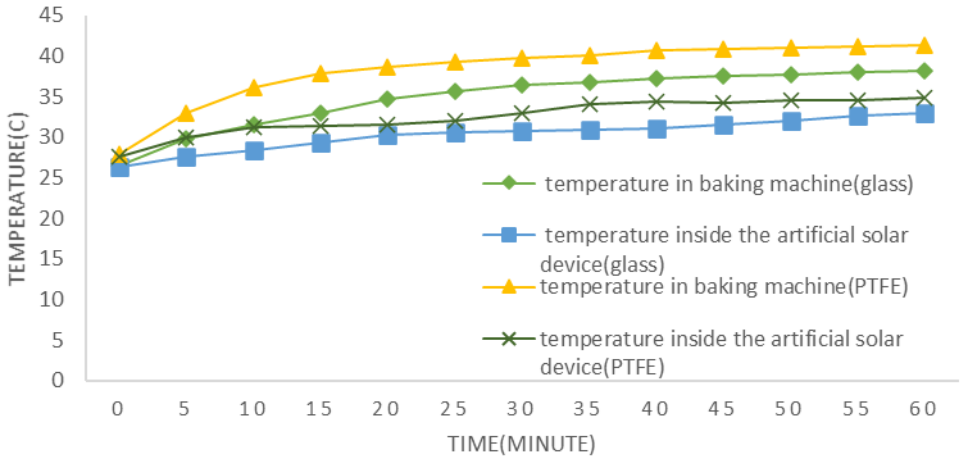
จากกราฟ เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มี ระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี โดยน้ำหนักสุดท้ายหลังการอบไป 1ชั่วโมง ของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกน้ำหนักสุดท้าย 46 กรัม และในส่วนของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีน้ำหนักสุดท้าย 45 กรัม

15. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณา จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 76



ภาพประกอบ 76 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



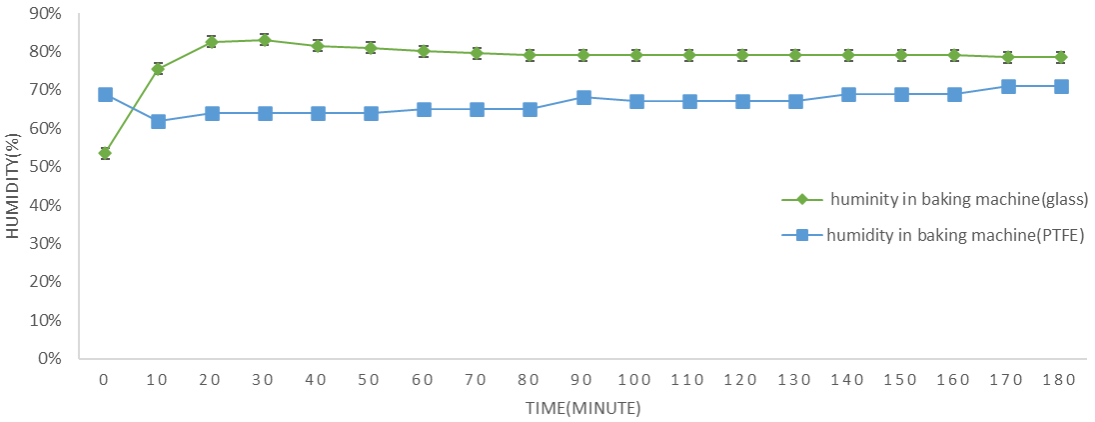
ภาพประกอบ 77 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากกราฟ เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัมที่เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี โดยน้ำหนัก

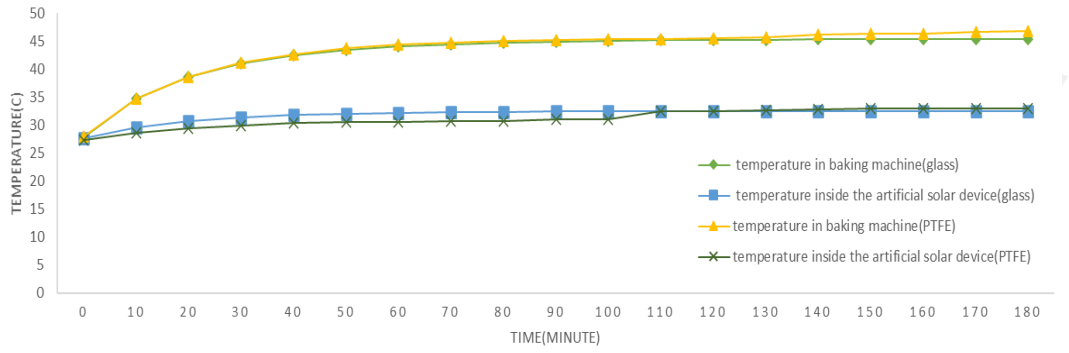
สุดท้ายหลังการอบไป 1 ชั่วโมง ของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกน้ำหนักสุดท้าย 38 กรัม และในส่วนของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีน้ำหนักสุดท้าย 36 กรัม

16. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของ เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณา จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 78



ภาพประกอบ 78 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

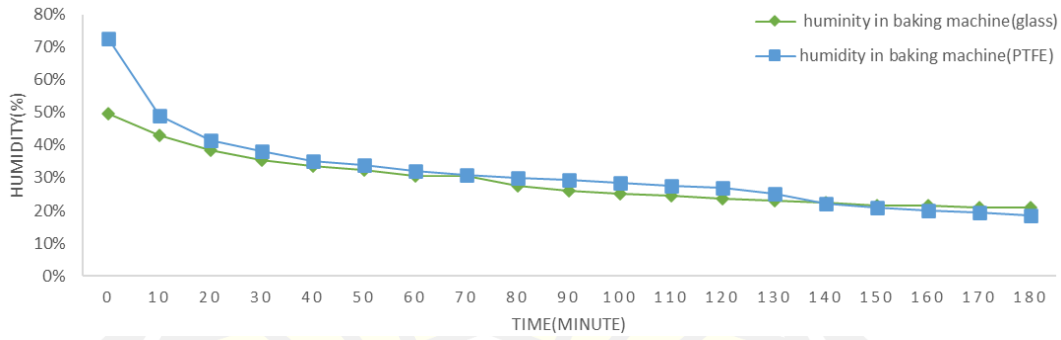


ภาพประกอบ 79 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

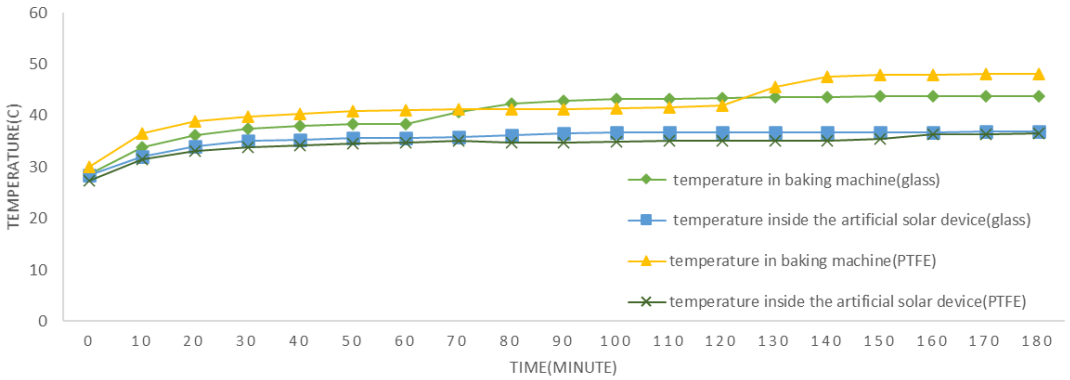
จากกราฟในภาพประกอบ 79 เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีโดยน้ำหนักสุดท้ายหลังการอบไป 3 ชั่วโมง ของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกน้ำหนักสุดท้าย 43 กรัม และในส่วนของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีน้ำหนักสุดท้าย 41 กรัม

17. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณา จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 80



ภาพประกอบ 80 แสดงกราฟค่าความชื้นภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

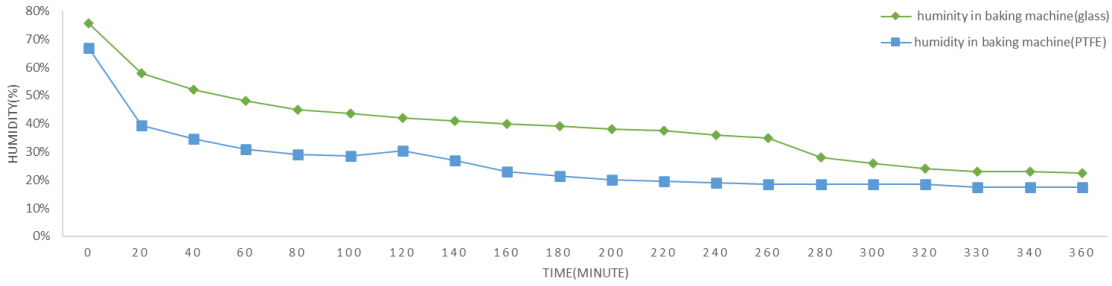


ภาพประกอบ 81 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

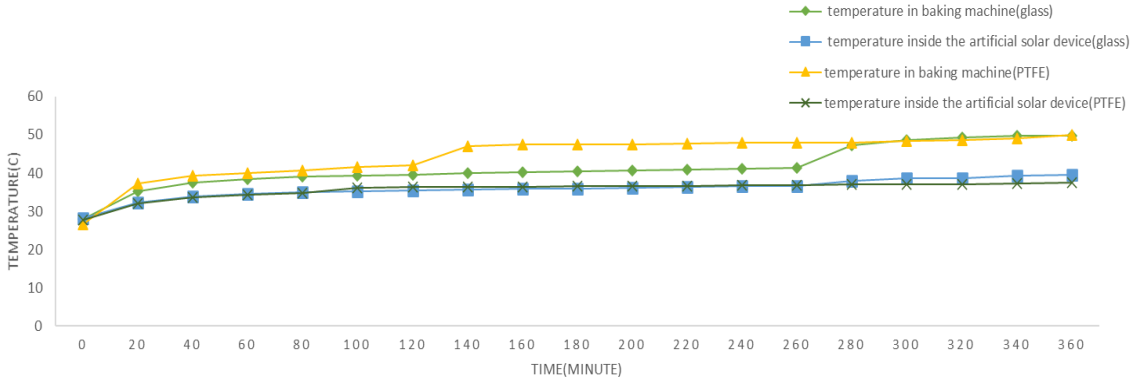
จากกราฟในภาพประกอบ 81 เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียม ระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีโดยน้ำหนักสุดท้ายหลังการอบไป 3 ชั่วโมง ของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกน้ำหนักสุดท้าย 28 กรัม และในส่วนของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีน้ำหนักสุดท้าย 24 กรัม จะเห็นได้ว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการคายความชื้นได้ดีกว่าส่งผลให้น้ำนักสุดท้ายหลังการอบมีน้ำหนักน้อยกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก

18. กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเพื่อเก็บค่าความชื้นและนำค่าที่เก็บได้มาพิจารณา จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการอบไปเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ค่าความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีอัตราการลดลงของความชื้นภายในเครื่องดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก ดังภาพประกอบ 82



ภาพประกอบ 82 แสดงค่าความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

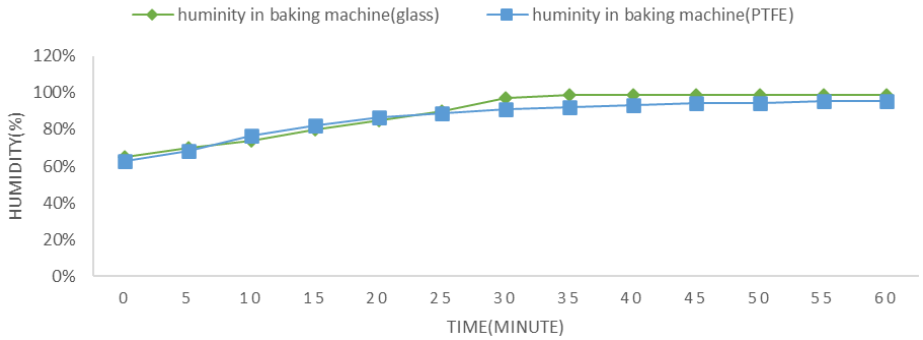


ภาพประกอบ 83 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 83 เป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียม ระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรน้ำหนักเริ่มต้นที่ 50 กรัม โดยน้ำหนักสุดท้ายหลังการอบไป 6 ชั่วโมง ของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกน้ำหนักสุดท้าย 8 กรัม และในส่วนของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีน้ำหนักสุดท้าย 5 กรัม และหากพิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเครื่องอบในแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีหากเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกแล้วจะมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าและลดความชื้นได้ดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก สงผลให้น้ำหนักสุดท้ายมีค่าที่เหมาะสมต่อความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

4.3.3 การเปรียบเทียบอัตราการดูกกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี หลังจากการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

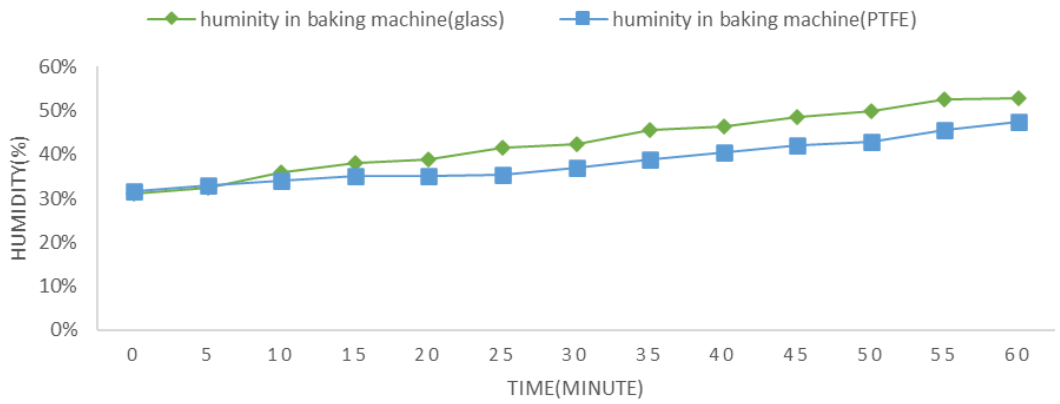
1. กราฟเปรียบเทียบการดูดกลับความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 84 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 84 หลังจากทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อทดสอบการป้องกันการดูดกลับความชื้นของสมุนไพรของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี โดยที่เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกมีความชื้น 99% และเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีความชื้น 96%

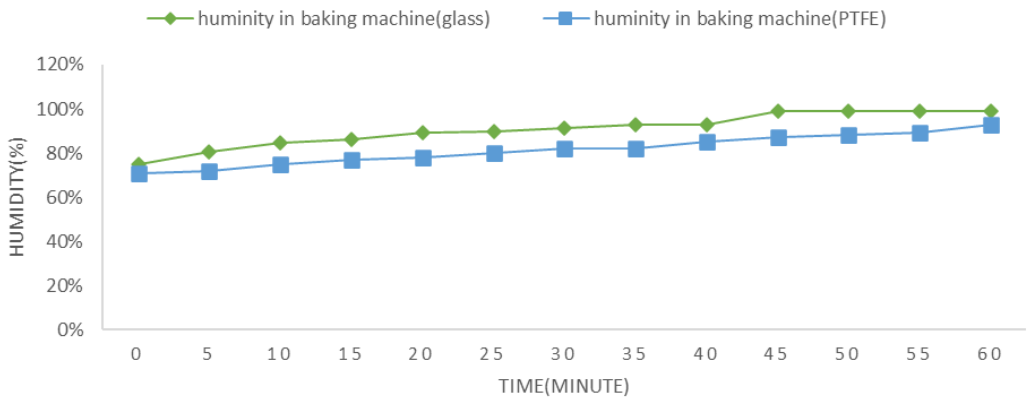
2. กราฟเปรียบเทียบการดูดกลับความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 85 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 85 หลังจากทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อทดสอบการป้องกันการดูดกลับความชื้นของสมุนไพรของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี โดยที่เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกมีความชื้น 53% และเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีความชื้นอยู่ที่ 48%

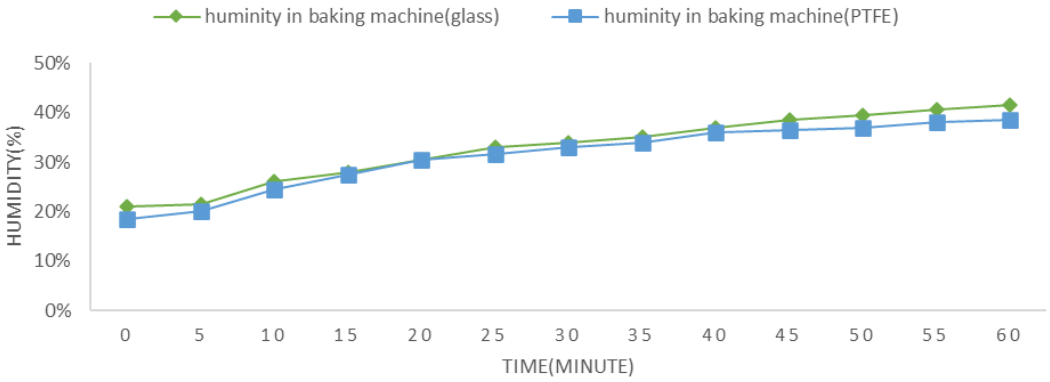
3. กราฟเปรียบเทียบการดูดกลับความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 86 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 86 หลังจากทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อทดสอบการป้องกันการดูดกลับความชื้นของสมุนไพรของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี โดยที่เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกมีความชื้น 99% และเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีความชื้น 93%

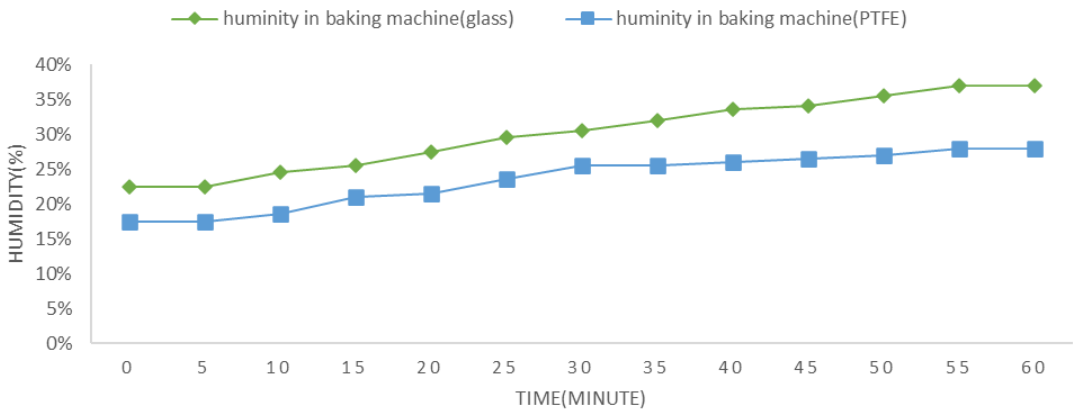
4. กราฟเปรียบเทียบการดูดกลับความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอี แบบ ระบบหมุนเวียนอากาศ ทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 87 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 87 หลังจากทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อทดสอบการป้องกันการดูดกลับความชื้นของสมุนไพรของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีโดยที่เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกมีความชื้น 42% และเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีความชื้น 39%

5. กราฟเปรียบเทียบการดูดกลับความชื้นระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 88 แสดงกราฟการดูดกลับความชื้นของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีทดสอบอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

จากกราฟในภาพประกอบ 88 หลังจากทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปิดเครื่องแสงอาทิตย์เทียมเพื่อทดสอบการป้องกันการดูดกลับความชื้นของสมุนไพรของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีโดยที่เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกมีความชื้น 37% และเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีมีความชื้น 28

บทที่ 5
สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้พลาสติกพีทีเอฟอีร่วมกับอากาศหมุนเวียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

2. เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่จัดสร้างขึ้นเป็นไปการออกแบบซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ โครงสร้างของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรทั้งแบบที่ใช้กระจกและแบบที่ใช้พีทีเอฟอีมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 30 x 50 x 40ซม. และใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ ใช้สำหรับเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรและระบบหมุนเวียนอากาศ

3. การออกแบบห้องทดสอบระบบแสงอาทิตย์เทียมได้ทำการคำนวณและออกแบบด้วยโปรแกรม DIALUX โดยที่ห้องทดสอบมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 60 x 60 x 50 ซม. โดยการทดสอบนี้ใช้หลอดฮาโลเจน รุ่น SYLVANIA R 011 REFLECTORLAMP QR51 GU/GX 5.3 + 50W/38dg แหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยด้วยสวิชชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 100 แอมป์ ทำการจัดเรียงในแนวกว้าง x ยาว เท่ากับ 3 x 3 หลอด ระยะห่างจากพื้นทดสอบ 60 ซม. และมีค่าการกระจายตัวของแสงในห้องทดสอบมีค่า 29,700 ลักซ์ และทำการติดตังเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ทางด้านข้างทั้ง 2 ฝั่ง เซ็นเซอร์อยู่เหนือจากพื้นทดสอบเป็นระยะ 40 ซม.

4.การทดลองเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก

การทดลองเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศจากการทดลองกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรพบว่าความชื้นภายในเครื่องจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

2) เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและระบบหมุนเวียนอากาศ จากการทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรพบว่าค่าความชื้นภายในเครื่องจะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิแต่เนื่องจากมีระบบระบบหมุนเวียนอากาศจึงทำให้ความชื้นภายในเครื่องลดลง

5.การทดลองเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี

การทดลองเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรและไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศจากการทดลองกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรพบว่าความชื้นภายในเครื่องจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

2) เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรและระบบหมุนเวียนอากาศจากการทดสอบกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรพบว่า ค่าความชื้นภายในเครื่องจะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิแต่เนื่องจากมีระบบหมุนเวียนอากาศจึงทำให้ความชื้นภายในเครื่องลดลงและยังสามารถป้องกันการดูดกลับความชื้นได้ดีกว่าเตาอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจก

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองในบทที่ 4 เป็นการทำการทดลองระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี แบบระบบหมุนเวียนอากาศ และแบบไม่มีระบบหมุนเวียนอากาศ และทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิภายในเครื่องแสงอาทิตย์เทียมระหว่างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีและระบบหมุนเวียนอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม เครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกและเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีโดยน้ำหนักสุดท้ายหลังการอบไป 6 ชั่วโมง ของเครื่องอบสมุนไพรที่ใช้กระจกน้ำหนักสุดท้าย 8 กรัม และในส่วนของเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอีน้ำหนักสุดท้าย 5 กรัม และหากพิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเครื่องอบในแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้พีทีเอฟอี และหากเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกแล้วจะมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าและลดความชื้นได้ดีกว่าเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ใช้กระจกส่งผลให้น้ำหนักสุดท้ายมีค่าที่เหมาะสมต่อความชื้นของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการจัดสร้างเครื่องอบสมุนไพรฟ้าทะลายโจรด้วยพีทีเอฟอี ควรเพิ่มพลังงานความร้อนเสริมเข้าไปเพื่อช่วยให้อุณหภูมิในเครื่องอบสูงขึ้นและเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการอบ

2. ข้อเสนอแนะในการซีลพีทีเอฟอีเพื่อทำเป็นบับเบิลควรทำการใช้ฮีตเตอร์ที่มีความร้อนสูงเพื่อทำการซีลพีทีเอฟอีบับเบิลให้มีความคงทนแข็งแรงเพื่อการใช้งานในระยะยาว

3. ข้อเสนอแนะในการทดลองนั้นเป็นการทดลองในห้องทดลองซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้หากแต่การนำไปใช้นั้นต้องทำการทดลองในพื้นที่ใช้จริง

4. ข้อเสนอแนะในการทดลองนั้นการดูดความชื้นออกกระทำภายในห้องทดลองเครื่องแสงอาทิตย์เทียมส่งผลให้ความร้อนและความชื้นสะสมภายในห้องทดสอบแสงอาทิตย์เทียมควรที่จะดูดความชื้นออกภายนอกห้องทดลองแสงอาทิตย์เทียม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] สมุนไพรเพื่อสุขภาพ. (2021). บทความดูแลสุขภาพ

[2] ใช้สมุนไพรอย่างไรให้ปลอดภัย. (2017). คณะแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3] อนุรักษ์ ครองทรัพย, กิ่งผล โคตรเขื่อน, ฑุลิกา ทิพมาศ, & วารินทร์ เหล่วแซง. (2016). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสมุนไพรพลังงานแสงอาทิตย์ (The Efficiency Increasing of Solar Dryer Herbs). RMUTI JOURNAL Science and Techไม่มีlogy, 9(1), 103-115.

[4] Sopajarn, A., Niseng, S., & Ritplin, T. (2020). ศึกษา การ อบ ชา สมุนไพรใบพลูด้วยความร้อนจาก ฮีตเตอร์อินฟราเรด โดยใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์. Rajamangala University of Techไม่มีlogy Srivijaya Research Journal, 12(1), 171-179.

[5] Tirawanichakul, S., Chanchiew, S., & Tirawanichakul, Y. (2013). Pennywort drying using infrared radiation: drying kinetics, energy consumption and quality aspect. Asia-Pacific Journal of Science and Techไม่มีlogy, 18(2), 311-324.

[6] ศุภรัตน์ เนินปลอด ธนิต สวัสดิ์เสวี ดลฤดี ใจสุทธิ์ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2013). การอบแห้งฟ้าทะลายโจรด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟาเรดไกลและสนามไฟฟ้าแรงดันสูง. *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10.*

[7] SinaEbnesajjad. (2016). 2 - Polytetrafluoroethylene: Properties and Structure. Expanded PTFE Applications Handbook, 9-24.

[8] วัชรินทร์ ดงบัง. ธีระพัฒน์ กู่วรรณรัตน์. (2008). สมรรถนะของอุปกรณ์อบแห้งกุ้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4.* โรงแรมโรสการ์เด้นริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม .

[9] เสริม จันทร์ฉาย. (2017). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์. ตำราประกอบการสอนวิชา 514 524 เทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

[10] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. (2017). เทคโนโลยี Internet of Things และนโยบาย Thailand 4.0

[11] “โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PTFE” http://www.hmp.com.tw/th/ptfe-4/#:~:text=PTFE/, available online, access (27/07/2021)

[12] Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B. K., Nagle, M., & Müller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. Solar energy, 83(9), 1550-1565.

[13] Achariyaviriya, S., Achariyaviriya, A., & Ketwijitchai, T. (2019). สมการจลนพลศาสตร์การอบ แห้งที่เหมาะสมของผลพลับ. Journal of Engineering, RMUTT, 2, 151-162.

[14] ศรีมา แจ้คำ. (2021). การอบแห้งใบมะกรูดด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดไกล. Srinakharinwirot Engineering Journal, 16(1), 59-70.

[15] Tabtiang, S. (2021). การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแปรรูปเห็ดหอมอบแห้ง. Thai Society of Agricultural Engineering Journal, 27(1), 10-10.

[16] Sritunyakorn, S., Suluksna, K., & Chitsomboon, T. (2020). แบบจำลองสัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้นสำหรับการอบแห้งชั้นบางของข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นหล่นอิสระ. RMUTP Research Journal, 14(2), 183-197.

[17] ณิชาภัทร มูลรัตน์. (2020). การอบแห้งเมล็ดกาแฟจากกระบวนการแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งชีวมวล (Doctoral dissertation, เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เชียงใหม่).

[18] วรรณพิชญ์ จุลกัลป์. (2019). จลนพลศาสตร์การอบแห้งมะม่วงเบาด้วยวิธีอบแห้งแบบสุญญากาศ. วารสาร วิทยาศาสตร์ บูรพา, 22(3), 358-373.

[19] Pontecha, P. (2020). การอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก. Thai Society of Agricultural Engineering Journal, 26(2), 7-7.

[20] ธวัชชัย อ่องประเสริฐ, & กมลวรรณ จิตจักร. (2020). การศึกษาประสิทธิภาพโรงเรือนอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งมะเขือเทศราชินี แช่อิ่ม. Kasem Bundit Engineering Journal, 10(3), 62-83.

[21] “เครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ” https://www.cybertice.com/product/697/dht22-am2302-module/, available online, access (25/07/2021)

[22] “เครื่องวัดความเข้มแสง” http://www.ett.co.th/productSensor/BH1750%20LUX%20SENSOR/man-th-BH1750.pdf/, available online, access (25/07/2021)

[23] “เครื่องชั่งแบบดิจิตอล” https://www.cst.co.th/, available online, access (25/07/2021)

[24] “มัลติมิเตอร์” http://www.engineerfriend.com/2016/articles/electrical/-multimeter//, available online, access (27/07/2021)

[25] “ฟ้าทะลายโจร”https://www.nci.go.th/en/research/researhdivision/research_informationfarthalai.html_, available online, access (25/07/2021)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ภาสกร ทางดี
วันเกิด	19 มีนาคม 2540
สถานที่เกิด	จังหวัดสุรินทร์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	27 หมู่ 9 ตำบลพรรณา อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร 47130
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นักศึกษา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2563 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2565 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม