

คู่มือแห่งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2564

AUTOMATIC CHILI SPUR PEPPER DRYING
CABINET BY INFRARED RADIATION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronic Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2021

คู่มือแห่งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



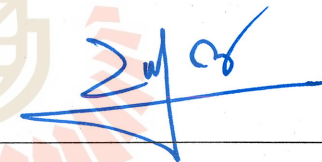
(รศ. ดร.จิระพล ศรีเสรีสุผล)

ประธานกรรมการ



(อ. ดร.ธีทัต ดลวิชัย)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.บัมทิต กฤตาคม)

กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศรายุทธ เมหาณี : ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด (AUTOMATIC CHILI SPUR PEPPER DRYING CABINET BY INFRARED RADIATION) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ธีรทัต ดลวิชัย, 81 หน้า.

คำสำคัญ: การอบแห้ง/รังสีอินฟราเรด/พริกชี้ฟ้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด โดยตู้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างอัตโนมัติ มีค่าความชื้น สีของพริกชี้ฟ้าแห้งได้ตามความต้องการของตลาด ตู้มีขนาดกว้าง 1.20 เมตร x ยาว 1.70 เมตร x สูง 1.80 เมตร สามารถอบพริกสดได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ภายในตู้อบแห้งประกอบด้วยหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรด ขนาด 4000 วัตต์ พัฒลมุดความชื้น ขนาด 6 x 6 นิ้ว จำนวน 2 ตัว ควบคุมการทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

จากผลการทดลองอบแห้งพริกชี้ฟ้า พบว่า ความชื้นที่เหลือภายในพริกแห้งที่เหมาะสมในการเก็บรักษาจะมีความชื้นต่ำกว่า 13 % (มาตรฐานแห้ง) ที่สามารถเก็บรักษาพริกแห้งได้เป็นเวลานานไม่ก่อให้เกิดเชื้อราและเป็นมาตรฐานความชื้นที่ตลาดรับซื้ออุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งอยู่ที่ 60 °C เมื่อพิจารณาค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) ของพริกที่อบด้วยตู้กับค่าสีของพริกแห้งตามท้องตลาด พบว่ามีค่าสีแดงที่เท่ากัน ส่วนสีเขียวและสีน้ำเงินต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ สีแดง (213,213), สีเขียว (187,188) และ สีแดง (186,183) ตามลำดับ ซึ่งการอบแห้งในระดับอุณหภูมินี้จึงเหมาะสมสามารถรักษาสีสดของพริกชี้ฟ้าได้ดี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดและการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ พบว่า ตู้อบแห้งสามารถลดความชื้นภายในพริกจากน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม ลดลงเหลือ 25.53 กรัม มีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกจาก 77.40% คงเหลือ 11.48% หรือค่าความชื้นมาตรฐานแห้งจาก 342.48% คงเหลือ 12.96% ใช้เวลารวม 9 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้า 12.22 kWh (หน่วย) คิดเป็นจำนวนเงิน 39.59 บาท/ครั้ง (อัตราค่าไฟฟ้า 3.2405 บาทต่อหน่วย) พริกที่ผ่านการอบแห้งจะมีลักษณะภายนอกที่ไม่เหี่ยวยุบจนเกินไป ส่วนการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ สามารถลดความชื้นภายในพริกจากน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม ลดลงเหลือ 28.16 กรัม จากความชื้นตามมาตรฐานเปียก 74.84% คงเหลือ 11.25% หรือความชื้นตามมาตรฐานแห้งจาก 297.46% คงเหลือ 12.68% ใช้เวลา 3 วัน 3 ชั่วโมง (รวม 27 ชั่วโมง) ซึ่งพริกจะมีลักษณะสีซีด ผิวเหี่ยวยุบ และมีกลิ่นเหม็นสาบ จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นและลดการหดตัวของพริกได้ดีกว่าการ

ตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ และพริกมีลักษณะทางกายภาพตรงตามความต้องการของตลาด
มากกว่า



สาขาวิชา วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

SARAYUT MAOREE : AUTOMATIC CHILI SPUR PEPPER DRYING CABINET BY
INFRARED RADIATION. THESIS ADVISOR : TEETUT DOLWICHAI, Ph.D., 81 PP.

Keywords: Dryer/Infrared Radiation/Chili Spur Pepper

This research aims to design and build an automatic chili spur pepper drying cabinet by Infrared radiation, the incubator can control the temperature and humidity automatically moisture value The color of dried chili can be according to market demand. An incubator that is 1.20 meters wide x 1.70 meters long x 1.80 meters high can bake 10 kg of fresh chili at a time. Inside the drying cabinet consists of a 4000 watt infrared heater lamp, two 6 x 6 inch desiccant fans, which can be controlled automatically.

From the results of drying chili peppers, it was found that the residual moisture content of dried chili peppers suitable for storage was lower than 13% (dry standard) that can keep dried chili for a long time does not cause mold and is the humidity standard that is bought in the market. The optimum drying temperature is 60 °C. When considering the red, green and blue (RGB) values of incubator peppers and the color values of commercially dried chili peppers. It was found that the red values were the same. The slight differences between green and blue were red (213,213), green (187,188) and red (186,183), respectively. The drying at this temperature is appropriate to maintain the fresh color of the chili spur pepper. Comparison between an automatic chili spur pepper drying cabinet by Infrared radiation and natural sunlight drying. It was found that the drying cabinet was able to reduce the humidity inside the peppers from the initial weight of 100 grams to 25.53 grams wet standard humidity from 77.40% residual 11.48% or dry standard humidity from 342.48% residual 12.96% It takes a total of 9 hours, uses 12.22 kWh of electricity (unit), amounting to 39.59 baht/time (electricity rate 3.2405 baht per unit) dried chilies will have an appearance that is not too wrinkled. As for drying with natural sunlight. Able to reduce the humidity inside the peppers from the initial weight of 100 g, reduced to 28.16 g, from the wet standard humidity of 74.84% to 11.25%, or the humidity of the dry standard from 297.46% to 12.68%, using 3 days 3 hours (total 27 hours) the peppers will look pale, wrinkled skin and have a

musty smell. From the above experimental results, it can be seen that the automatic chilli spur pepper drying cabinet by Infrared radiation can reduce the humidity and shrink the chili better than drying it under natural sunlight. And chili has physical characteristics more than meet the market demand.



School of Mechatronic Engineering

Academic Year 2021

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ธีทัต ตลวิชัย ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล พร้อมด้วยอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาให้แก่ผู้จัดทำ รวมทั้งสละเวลาให้คำแนะนำ และความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับแนวทางการทำวิจัย การปรับปรุงและนำเสนองาน ทำให้ผู้จัดทำได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถนำมาใช้วิเคราะห์วางแผน รวมทั้งแผนงานต่าง ๆ และสรุปข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมาก

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยนครพนม ที่อนุญาตให้ศึกษาต่อพร้อมทั้งให้ทุนการศึกษาในระดับปริญญาโทในครั้งนี้

อนึ่ง ผู้จัดทำหวังว่า งานโครงการนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ จนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำรับผิดชอบและพร้อมนำไปปรับปรุงและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

ศรายุทธ เม่าพี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ลักษณะทั่วไปของพริก.....	5
2.3 กระบวนการผลิตพริกแห้ง	7
2.4 การอบแห้ง.....	9
2.5 หลักการลดความชื้น.....	11
2.6 ความชื้นวัสดุ.....	13
2.7 การหาปริมาณความชื้น	14
2.8 หลักการของรังสีอินฟราเรด.....	14
2.9 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer).....	17
2.10 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer).....	19
2.11 การพาความร้อน (Convection).....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 บอร์ด Arduino.....	21
2.13 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing).....	23
2.14 ทฤษฎีมาตรฐานแม่สี RGB.....	24
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 ตัวอย่างวัสดุดิบทดลอง.....	35
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	35
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	38
4 ผลการดำเนินงาน.....	51
4.1 ผลการทดลองการตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ.....	51
4.2 ผลการทดลองการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติ ด้วยรังสีอินฟราเรด.....	55
4.3 ผลการวิเคราะห์ประเมินค่าสีของพริกชี้ฟ้าแห้งที่ผ่านการตากด้วย แสงแดดธรรมชาติและการอบแห้งจากตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติ ด้วยรังสีอินฟราเรด.....	60
5 บทสรุป.....	64
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	70
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำพาความร้อนและการแผ่รังสี	18
2.2	แสดงค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด	20
3.1	แสดงเครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ศึกษา	36
4.1	แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบพริกแห้งแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด	56
4.2	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีพริกชี้ฟ้าแห้ง	62



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงพริกชี้ฟ้าสด.....	3
1.2	แสดงพริกที่ผ่านการผึ่งแดดแบบธรรมชาติ.....	3
2.1	แสดงลักษณะทั่วไปของพริกชี้ฟ้า.....	7
2.2	แสดงการตากพริกตามธรรมชาติ.....	8
2.3	แสดงการผลิตพริกแห้งในระดับการค้า.....	8
2.4	แสดงการลดลงของความชื้นวัสดุ.....	10
2.5	แสดงการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และตัวปล่อยคลื่นอินฟราเรด.....	15
2.6	แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีต่าง ๆ.....	16
2.7	แสดงปรากฏการณ์ส่งผ่านความร้อนของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุ.....	16
2.8	แสดง Arduino RS232 ต้นแบบของอาคุยโน่.....	22
2.9	แสดง Layout & Pin out Arduino Board.....	22
2.10	ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์.....	24
2.11	ระบบสี RGB.....	25
2.12	ระบบสี CMYC.....	26
2.13	ระบบสี Grayscale.....	26
2.14	ระบบสี Bitmap.....	27
2.15	ระบบสี HSB.....	28
2.16	ระบบสี Lab.....	29
3.1	แสดงตัวอย่างพริกที่ใช้ในการศึกษา.....	35
3.2	แสดงเครื่องวัดความชื้น.....	36
3.3	แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	36
3.4	แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล.....	37
3.5	แสดงนาฬิกาจับเวลา.....	37
3.6	แสดงเครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์.....	37
3.7	แสดงเครื่องวัดแสง.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	แสดงเครื่องวัดรังสีอาทิติย์แบบบันทึกค่าได้..... 38
3.9	แสดงกล้องถ่ายภาพ..... 38
3.10	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย..... 39
3.11	แสดงออกแบบตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด 41
3.12	แสดงออกแบบระบบควบคุมตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด 42
3.13	แสดงระบบควบคุมตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด..... 43
3.14	แสดงวิธีการตากแดดธรรมชาติและตัวอย่างในการเก็บผลการทดลอง 44
3.15	แสดงการเก็บข้อมูลของน้ำหนักในพริกด้วยการตากแดดธรรมชาติ..... 44
3.16	แสดงการบันทึกค่าความเข้มแสงแดดในระหว่างวันในการทดลอง..... 45
3.17	แสดงการเก็บรักษาพริกกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 45
3.18	แสดงวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบและตัวอย่างในการเก็บผลการทดลอง 46
3.19	แสดงการเก็บข้อมูลน้ำหนักในพริกด้วยการอบด้วยตู้..... 46
3.20	แสดงจุดวัดอุณหภูมิภายในตู้อบ 47
3.21	แสดงการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ 47
3.22	แสดงการเก็บบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ของตู้อบ 48
3.23	แสดงกระบวนการวิเคราะห์ค่าสี RGB..... 48
3.24	แสดงวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัด Lux Meter 49
3.25	แสดงการวิเคราะห์หาค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม MATLAB..... 49
4.1	แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงโดยวิธีตากแดดธรรมชาติ (MC (%d.b) 52
4.2	แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงโดยวิธีการตากแห้งด้วยแดดธรรมชาติ (MC (% w.b)..... 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	แสดงความชื้นในอากาศขณะตากแห้งพริกชี้ฟ้าโดยการตากแดดธรรมชาติ.....54
4.4	แสดงการทดลองความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2).....55
4.5	แสดงเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นของพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C (MC (% d.b)).....56
4.6	แสดงเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นของพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C (MC (% w.b)).....57
4.7	แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 60 °C 58
4.8	แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 70 °C 59
4.9	แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 80 °C 60
4.10	แสดงภาพถ่ายพริกแห้งชี้ฟ้าจากท้องตลาด..... 61
4.11	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะพริกที่อบด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติ ด้วยรังสีอินฟราเรดกับวิธีตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ..... 61
4.12	แสดงค่าสีพริกแห้งชี้ฟ้า RGB..... 63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

h_c	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยพาความร้อนจากอากาศร้อนสู่ผิววัสดุ
h_r	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างวัสดุกับผนังของห้องอบ
u_k	=	สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวหน้าของการอบโดยการพาและการนำความร้อนผ่านชิ้นวัสดุผิวหน้าซึ่งมีการระเหย
T_v, T_i	=	ค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้งและอุณหภูมิผิวต่อระหว่างอากาศและวัสดุ
n_t	=	ประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง, %
m_w	=	ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ, $\frac{kJ}{kg}$
m_f	=	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง, kg
LHV	=	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่ใช้, $\frac{kJ}{kg}$
M_w	=	ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.) อัตราส่วน
M_d	=	ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.) อัตราส่วน
M_w	=	มวลของความชื้น
W_d	=	มวลแห้งของวัสดุ
q_{cond}	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดนการนำความร้อน (Wall or J/s)
A	=	พื้นที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)
T	=	อุณหภูมิ (K)
X	=	ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พริกเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและมีความสัมพันธ์ต่อความเป็นอยู่ของชาวไทย ในประเทศไทย พื้นที่เพาะปลูกพริกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ประมาณ 128,932 ไร่ ช่วงเวลาในการเพาะปลูกเริ่มเดือนพฤษภาคม และเก็บเกี่ยวในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม [1] สำหรับพริกที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 2 กลุ่ม กลุ่มแรกพริกหวาน ได้แก่ พริกหยวก กลุ่มสองพริกเผ็ด ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกชี้หนุสวน พริกชี้หนุใหญ่ ผู้วิจัยเลือกพริกชี้ฟ้าเพราะเป็นพริกที่ช่วยให้ประโยชน์ช่วยร่างกายขับถ่ายของเสียและนำธาตุอาหารไปยังเนื้อเยื่อของร่างกาย ปริมาณความต้องการของพริกเพื่อการบริโภคของทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศยังมีอีกมาก พริกมีรสเผ็ดร้อนพอประมาณ ผลมีลักษณะเรียวยาว ผิวมัน ใช้ประกอบอาหารได้หลายประเภท มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีสารแคปไซซิน (Capsaicin) สามารถนำมาสกัดทำยารักษาโรคได้ นอกจากนี้พริกชี้ฟ้ายังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยและมีผลผลิตตลอดทั้งปี [2] ในช่วงปี พ.ศ.2562 เกษตรกรนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายมีผลผลิตพริกมากถึง 283,515 ตัน [3] ข้อจำกัดเนื่องมาจากพริกชี้ฟ้ามีความชื้นสูงเกษตรกรไม่สามารถเก็บรักษาพริกสดไว้ได้นานและการเก็บรักษาโดยไม่ผ่านกรรมวิธีใดได้ไม่เกิน 1 สัปดาห์ ทำให้เกิดภาวะสินค้าล้นตลาดส่งผลให้พริกสดมีราคาต่ำและกระทบต่อรายได้ของเกษตรกร การแปรรูปการทำให้แห้งจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่เกษตรกรนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหา ซึ่งช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิต รวมถึงราคาที่ได้รับได้ชัดจากข้อมูล ณ เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 ราคาพริกชี้ฟ้าแห้งสูงกว่าพริกชี้ฟ้าสดถึง 6 เท่า [4]

จากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้นการอบแห้งพริกชี้ฟ้ามีความสำคัญต่อเกษตรกรที่ต้องการถนอมอาหารหรือแปรรูป โดยการทำให้พริกแห้งด้วยวิธีการอบแห้งหรือตากแห้ง ซึ่งการตากแห้งเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งด้วยใช้ความร้อนจากแสงแดดสามารถทำได้ง่าย แต่ต้องใช้เวลาประมาณ 5-6 วัน ใช้พื้นที่ในการตากค่อนข้างมาก และมีปัญหาเรื่องความสะอาด [5] ผลผลิตที่ได้มีสีซีด ผิวเหี่ยวยุ่น และมีกลิ่นเหม็นสาบส่งผลให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ส่วนการอบแห้งเป็นวิธีที่สามารถทำลาย

เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย ลดความชื้นโดยการระเหย ประหยัดเวลาและพื้นที่ นอกจากนี้ยังทำให้ผลผลิตสะอาด ปลอดภัยและแมลงต่าง ๆ รักษาความสดของสีพริกและผิวภายนอกของพริกไม่เหี่ยวยุบจนเกินไป [6] ในปัจจุบันยังมีการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมในกระบวนการอบแห้งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการที่จะเลือกใช้ในกระบวนการอบแห้งและเทคนิคการอบแห้งมีหลายอย่าง เช่น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [7] การอบแห้งจากความร้อนชีวมวล การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล [8] รวมทั้งการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดหรือลมร้อน [9] ซึ่งการอบแห้งด้วยวิธีนี้ช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งและลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี [10] อีกทั้งการให้ความร้อนที่สูง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้นจึงเหมาะกับการอบวัสดุที่มีความชื้นสูง ซึ่งพลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว [11] จุดเด่นข้อนี้ทำให้ผิวภายนอกวัสดุไม่เหี่ยวยุบทำให้เป็นที่ต้องการของท้องตลาด และยังช่วยให้มีอัตราการอบแห้งที่สูงลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ด้วย งานวิจัยเครื่องอบแห้งบีบความร้อนเพื่ออบแห้งพริกชี้หนูแดง [12] พบว่าสามารถ ลดปริมาณความชื้นของพริกจากร้อยละ 80 มาตรฐานเปียก ให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก โดยใช้ระยะเวลาเพียง 45 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยทางด้านการอบแห้งเรื่องการอบแห้งโดยใช้แหล่งพลังงานรังสีอาทิตย์ [13] พบว่าการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานรังสีอาทิตย์ สามารถลดระยะเวลาอบแห้งได้ 2 วันเมื่อเทียบกับวิธีการตากแดดธรรมชาติ มีการประยุกต์ใช้งานด้านการอบแห้งด้วยหลักการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์มาแก้ไขปัญหาเพื่อรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์จากการที่เกิดเชื้อราในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาและเพิ่มกำลังการผลิตให้ทันตามความต้องการ

จากการศึกษาทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจและมีแนวคิดที่จะออกแบบ สร้างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ในการทดลองประสิทธิภาพของตู้อบแห้ง เพื่อหาอัตราการอบแห้งและความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่เหลือหลังจากการอบแห้ง และประเมินสีของพริกแห้งชี้ฟ้า โดยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นลักษณะการพาความร้อนด้วยวิธีการบังคับอากาศที่อาศัยแรงดันจาก พัดลมไปยังพริกชี้ฟ้าที่ต้องการอบแห้ง มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นที่เหลือและอัตราความเร็วในการอบแห้ง มีการนำอากาศร้อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้คงความสดของสีพริก ช่วยลดการเกิดเชื้อรา รักษาคุณภาพของพริก ลดระยะเวลาและประหยัดค่าใช้จ่าย ตลอดจนทำให้พริกมีมูลค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.1 พริกชี้ฟ้าสด



รูปที่ 1.2 แสดงพริกที่ผ่านการผึ่งแดดแบบธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด
- 2) เพื่อออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น อัตโนมัติ
- 3) เพื่อกำหนดความชื้นและสีของพริกแห้งชี้ฟ้าแห้งตามความต้องการของตลาด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกแบบตู้อบขนาด กว้าง 1.20 เมตรxยาว 1.70 เมตรxสูง 1.80 เมตร
- 2) ตู้อบแห้งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างอัตโนมัติ
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบพริกอยู่ในช่วง 60 70 80 °C
- 4) ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแห้ง ให้ความร้อนขนาด 2000 วัตต์
- 5) พริกชี้ฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง อายุ 70-95 วันขึ้นไปนับจากวันที่ปลูก
- 6) ปริมาณของพริกชี้ฟ้าสดอบต่อครั้งไม่เกิน 10 กิโลกรัม
- 7) ความชื้นที่เหลือในพริกที่ผ่านการอบแห้งไม่เกิน 13 % (มาตรฐานแห้ง)
- 8) ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ด Arduino UNO R3
- 9) กำหนดมาตรฐานความชื้นและสีของพริกชี้ฟ้าแห้งตามความต้องการของตลาด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด
- 2) ได้ระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น อัตโนมัติสำหรับตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด
- 3) ได้ค่าความชื้นและสีของพริกแห้งชี้ฟ้าแห้งตามความต้องการของตลาด



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้ กล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา การออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตพริกแห้งชี้ฟ้า ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของพริกแห้ง ประโยชน์ของพริกชี้ฟ้า การเก็บรักษาพริกชี้ฟ้า กระบวนการอบพริกแห้ง ที่แสดงให้เห็นลักษณะทั่วไปของวัตถุดิบที่นำใช้กับการศึกษานี้ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยรังสีอินฟราเรดชนิดอัตโนมัติ ทฤษฎีการอบแห้ง หลักการลดความชื้น หลักการของรังสีอินฟราเรด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2 ลักษณะทั่วไปของพริก

พริกชี้ฟ้า (Chili Spur Pepper, Chili pepper) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Capsicum annuum*[14] เป็นพืชผักสมุนไพร ที่เจริญเติบโตได้ง่าย ๆ เป็นไม้ทรงพุ่มขนาดเล็ก มีลำต้นกลม ๆ มีสีเขียว ใบมีลักษณะทรงรียาวรี ปลายใบแหลม ใบเรียบมัน มีสีเขียว ดอกมีลักษณะรูปกรวย กลีบดอกมีสีขาว ผลมีลักษณะทรงกลมยาว ปลายเรียวแหลม โค้งงอ ผิวเปลือกหนาเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวเข้ม ผลสุกมีสีแดง ภายในผลกลวงมีแกนกลาง จะมีเมล็ดกลมแบนเล็ก ๆ สีเหลืองอ่อนเกาะแกนอยู่มากมาย มีรสชาติเผ็ดพอประมาณ ใช้ประกอบอาหารเมนูต่าง ๆ ได้หลายเมนู ประเทศไทยนิยมรับประทานกันมาก และมีการปลูกหลายสายพันธุ์ ลำต้น เป็นพืชผักสมุนไพร เป็นพืชล้มลุก เป็นไม้ทรงพุ่มขนาดเล็ก มีอายุประมาณ 1-3 ปี มีลำต้นเดี่ยวตั้งตรง ลำต้นมีลักษณะกลม ๆ เนื้อไม้อ่อนเปราะหักง่าย แตกกิ่งก้านสาขามาก กิ่งอ่อนเป็นสีเขียวมีสีเขียว กิ่งแก่มีสีน้ำตาล เป็นพืชผักสมุนไพร เป็นไม้ทรงพุ่มขนาดเล็ก ผลมีลักษณะทรงกลมยาว ปลายเรียวแหลม โค้งงอ ผิวเปลือกหนาเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวเข้ม ผลสุกมีสีแดง ภายในผลกลวงมีแกนกลาง จะมีเมล็ดกลมแบนเล็ก ๆ สีเหลืองอ่อนเกาะแกนอยู่มากมาย มีรสชาติเผ็ดพอประมาณ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีปลูกกันในหลายประเทศทั่วโลก เป็นพืช

สมุนไพรไทยที่มีมาแต่โบราณ ประเทศไทยมีการปลูกหลายสายพันธุ์ มีประโยชน์และสรรพคุณ ทางยาหลายอย่าง นำมาประกอบปรุงอาหารเมนูต่าง ๆ ได้หลายเมนู

ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับกัน มีลักษณะทรงรียาวรี ปลายใบแหลม ใบเรียบมัน ขอบใบเรียบ มีก้านใบยาว ใบมีสีเขียว มีขนปกคลุมทั่วใบ

ราก เป็นระบบรากแก้ว มีลักษณะกลม ๆ แทงลึกลงในดิน มีรากแขนงและรากย่อย รากออกตามรอบ ๆ ลำต้น มีสีน้ำตาล

ดอก ออกดอกเดี่ยว ดอกจะขึ้นบน ดอกมีลักษณะรูปกรวย กลีบดอกมีสีขาว มีกลีบเลี้ยงสีเขียว ก้านช่อดอกจะยาว ดอกออกตามซอกใบ และออกตรงปลายยอดกิ่ง

ผล เป็นผลเดี่ยว มีลักษณะทรงกลมยาว ปลายเรียวแหลม โคนงอ ผิวเปลือกหนาเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวเข้ม ผลสุกมีสีแดง ภายในผลกลวงมีแกนกลาง จะมีเมล็ดกลมแบนเล็กๆ สีเหลืองอ่อน เกาะแกนอยู่มากมาย มีรสชาติเผ็ดพอประมาณ ใช้ประกอบอาหารเมนูต่าง ๆ ได้หลายเมนู

เมล็ด มีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก เกาะแกนกลางอยู่ในผล เมล็ดมีลักษณะกลมแบนเล็กๆ มีสีเหลืองอ่อน

2.2.1 ประโยชน์และสรรพคุณพริกชี้ฟ้า [14]

มีวิตามินซี มีวิตามินเค มีโพแทสเซียม มีวิตามินเอ มีแคลเซียม มีฟอสฟอรัส มีเหล็ก มีวิตามินบี 1 มีวิตามินบี 2 มีวิตามินบี 3 มีเบตาแคโรทีน มีคาร์โบไฮเดรต มีโปรตีน มีไขมัน มีเส้นใย ช่วยเจริญอาหาร ช่วยขับปัสสาวะ แก้ปวดเมื่อย แก้ฟกช้ำดำเขียว แก้เคล็ดขัดยอก ช่วยให้ไหลเวียนเลือดดี ช่วยป้องกันเส้นเลือดหัวใจตีบ ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง แก้วหวัด แก้วไอ แก้วไข้ ช่วยขับเสมหะ ช่วยลดน้ำหนัก ช่วยบรรเทาคัดจมูก ช่วยรักษาการอุดตันเส้นเลือด ช่วยลดคอเลสเตอรอล ช่วยบรรเทาอาการปวด ช่วยขับลม มีอนุมูลอิสระ ช่วยเจริญอาหาร ช่วยบำรุงธาตุ แก้ปวดศีรษะ แก้วกระษัย ช่วยบำรุงหัวใจ ช่วยบรรเทาความดันโลหิตสูง ช่วยขับเหงื่อ แก้วจุกเสียด แก้วท้องอืด เป็นยาระบายอ่อน ๆ แก้วหืด ช่วยรักษากลากเกลื้อน แก้วอาการตะคริว

2.2.2 การปลูกและขยายพันธุ์พริกชี้ฟ้า [15]

พริกชี้ฟ้าเป็นพืชที่เจริญได้ ในดินแทบทุกชนิด ชอบดินร่วนปนทรายจะเจริญได้ดี การ ปลูกสามารถปลูกได้ คือใช้เมล็ดพันธุ์ นำมาเพาะในถุงเพาะชำ หรือเพาะลงในแปลงเพาะ เมื่อดันกล้ามีอายุประมาณ 30 วัน แล้วจึงทำการย้ายต้นกล้า นำมาปลูกลงในแปลงดิน ระยะปลูกห่างระหว่างต้น ประมาณ 50×50 เซนติเมตร

2.2.3 วิธีดูแลรักษาพริกชี้ฟ้า [15]

พริกชี้ฟ้าเป็นพืชที่ชอบน้ำ ชอบแสงแดด ต้องระบายน้ำดี น้ำไม่ขัง ต้องหมั่นรดน้ำให้ชุ่ม โดยรดน้ำเช้าเย็น ให้โดนแดดตลอดวัน จะทำให้โตได้เร็ว ต้องดูแลรดน้ำเสมอ

2.2.4 การเก็บผลผลิตพริกชี้ฟ้า [15]

การเก็บผลผลิตพริกชี้ฟ้า ได้ประมาณ 2-3 เดือน หลังย้ายปลูกลงในแปลง จะเริ่มเก็บเมื่อพริกชี้ฟ้า มีผลโตเต็มที่ ผลดิบมีสีเขียวเข้ม ผลสุกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดง ให้ใช้มือเด็ดมีขั้วก้านติดมาด้วย แล้วนำไปใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้

2.2.5 วิธีเก็บรักษาพริกชี้ฟ้า

จะนำพริกชี้ฟ้า แล้วนำมาล้างน้ำให้สะอาด เราจะมีวิธีเก็บรักษาให้สดนาน ๆ คือให้ล้างน้ำให้สะอาดดี แล้วให้สะเด็ดน้ำออกให้หมด แล้วนำมาห่อด้วยกระดาษหรือผ้าขาวบาง แล้วใส่ถุงหรือกล่องพลาสติก แล้วนำไปแช่ตู้เย็น จะเก็บไว้ได้นาน



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะทั่วไปของพริกชี้ฟ้า

2.3 กระบวนการผลิตพริกแห้ง

การทำพริกแห้งในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ ในระดับครัวเรือน นิยมใช้วิธีการตากแดดกลางแจ้งใช้ระยะเวลาในการตากแห้ง 5 ถึง 7 วันใช้เวลานานในการตากแห้งรวมถึงอุณหภูมิแสงแดดทำให้สีพริกหมองคล้ำทำให้ไม่สามารถเก็บไว้เป็นเวลานานในการบริโภค และต้องใช้แรงงานในครัวเรือนดังแสดงในรูปที่ 2.2 และระดับการค้า นิยมใช้การอบแห้งพริกในโรงเรือน ใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน แต่สามารถป้องกันฝน และน้ำค้างได้แต่การอบแห้งในโรงเรือนนี้จำเป็นต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการกับชั้นซึ่งขณะทำการกลับชั้นไอระเหยของพริกทำให้เสกตา และจุกเป็นอันตรายต่อแรงงาน ทำให้การผลิตพริกแห้งทำได้ด้วยความยากลำบากดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงการตากพริกตามธรรมชาติ



รูปที่ 2.3 แสดงการผลิตพริกแห้งในระดับการค้า

2.4 การอบแห้ง

2.4.1 ความหมายของการอบแห้ง [16]

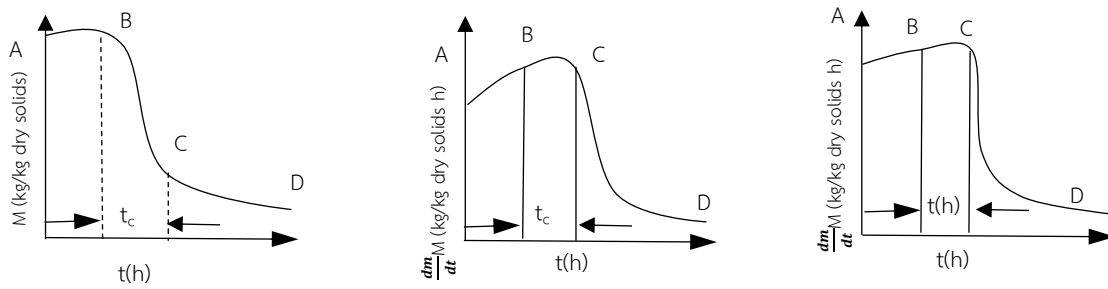
การอบแห้ง (Drying) คือการกำจัดความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ ให้ลดลงจนมีความชื้นอยู่ในปริมาณที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทำแห้ง (Dehydration) ซึ่งเป็นการกำจัดความชื้นหรือน้ำออกจากวัสดุจนกระทั่งวัสดุนั้นไม่มีความชื้นหรือเข้าใกล้มวลแห้ง

2.4.2 กระบวนการอบแห้ง [17]

การอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความเหมาะสมต่อการเก็บรักษา ข้อดีสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่ผลผลิตทางการเกษตรจะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น

ส่วนใหญ่การอบแห้งจะใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย [24] ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง จะใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกจากวัสดุ หากอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของอากาศเหนือผิวของวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการและการถ่ายเทความร้อนสู่วัสดุโดยการพาความร้อน การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตลอดกระบวนการอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วง A-B เป็นช่วงสถานะที่ผิวของวัสดุเข้าสู่สมดุลกับอากาศเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการอบแห้งความร้อนจากลมร้อนที่ได้จะถ่ายเทสู่ผิววัสดุจนถึงค่า ๆ หนึ่งซึ่งมีความสมดุลระหว่างผิววัสดุกับอากาศ
2. ช่วง B-C เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period drying) ผิววัสดุยังคงชุ่มไปด้วยน้ำซึ่งจะถูกนำออกจากผิววัสดุด้วยการระเหยซึ่งอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวของการอบแห้ง อัตราการถ่ายเทความร้อนมีความสมดุลกับอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งคงที่ สอดคล้องกับอุณหภูมิการเป่าเปียงของอากาศอบแห้ง



รูปที่ 2.4 แสดงการลดลงของความชื้นวัสดุ [18]

3. ช่วง C-D เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) เนื่องจากปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่มาสู่ผิวด้านนอกลดลง ณ จุด C ในภาพที่ 3 อัตราการอบแห้งเริ่มลดลงความชื้นของวัสดุที่จุดนี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต ในกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปกติช่วงอัตราการอบแห้งลดลงประกอบไปด้วยสองช่วง คือ ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 1 (C-E) ช่วงนี้ผิวของวัสดุจะแห้งและอัตราการอบแห้งลดลง ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 2 (E-D) ช่วงนี้ระนาบของการระเหยจะเคลื่อนตัวสู่ภายในเนื้อวัสดุและผลกระทบจากปัจจัยภายนอก

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

1. ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุ คือปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของวัสดุ ถ้าสภาพทางธรรมชาติของวัสดุเอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำภายในเนื้อวัสดุและเอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำออกจากวัสดุ เช่น วัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนโมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสามารถเคลื่อนที่ออกมาได้ง่ายทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่างของวัสดุ วัสดุที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรมาก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนให้ทั่วชั้นวัสดุทำให้การระเหยน้ำออกจากเนื้อวัสดุดีขึ้น อัตราการอบแห้งจึงเร็วขึ้น

3. ปริมาณและการจัดเรียงวัสดุ วัสดุที่นำมาจัดเรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นในถาดทำให้ปริมาณของวัสดุ ต่อถาดมากเกินไปจะทำให้วัสดุที่อยู่บริเวณตรงกลางได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงทำให้บริเวณนั้น มีอัตราการอบแห้งที่ช้า การจัดเรียงที่เหมาะสมควรทำ การจัดเรียงเป็นแบบชั้นบางเพื่อให้วัสดุได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

4. อุณหภูมิของอากาศร้อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับวัสดุมีมากทำให้การถ่ายเทความร้อนสู่น้ำในเนื้อวัสดุได้ดีจึงทำให้น้ำในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่และระเหยได้เร็วขึ้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้นแต่ก็ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

5. ความชื้นของอากาศร้อน หากความชื้นของอากาศร้อนมีค่ามากจะมีผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำ ออกจากเนื้อวัสดุได้ยาก

6. ความดันของบรรยากาศ การอบแห้งโดยทั่วไปมักทำที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ ถ้าหากมีการลดความดันของบรรยากาศในขณะที่ทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะทำให้จุดเดือดของน้ำลดลง ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้เหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่เสื่อมคุณภาพได้ง่ายเนื่องจากความร้อน เครื่องอบแห้งมีการลดความดันในสภาวะการอบแห้ง เช่น เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบลูกกลิ้ง (Vacuum drum drier) เป็นต้น

7. ความเร็วลมร้อน ถ้าความเร็วของลมร้อนมีค่ามากจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าวัสดุ ได้ดีขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

8. สมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของวัสดุ คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งคือ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน และการแพร่ความร้อน ส่วนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่นจริง ความหนาแน่นปรากฏ และสัดส่วนช่องว่างอากาศในกองวัสดุ

2.5 หลักการลดความชื้น

โดยปกติการลดความชื้นมีหลายวิธี [19] วิธีที่นิยมใช้กับวัสดุทางการเกษตรหรือเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้วิธีการอบแห้ง การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร โดยทั่วไปจะอาศัยความร้อนจากภายนอกถ่ายเทความร้อนเข้าสู่วัสดุที่ต้องการ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปจะทำให้ความชื้นของวัสดุที่อยู่ที่ผิวและเนื้อวัสดุระเหยออกมา ดังสมการที่ 1 ทั้งนี้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจะถูกกำหนดโดยระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Drying Time) จากความชื้นเริ่มต้นไปสู่ความชื้นที่ต้องการ

$$q_r = h_v A (T_v - T_i) = h_c A (T_v - T_i) + h_c A (T_v - T_i) + u_r A h_c A (T_v - T_i) \quad (2.1)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยพาความร้อนจากอากาศร้อนสู่วัสดุ

h_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างวัสดุกับผนังของห้องอบ

u_k คือ สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวหน้าของการอบโดยการพาและการนำความร้อนผ่านชั้นวัสดุผิวหน้าซึ่งมีการระเหย

T_v, T_i คือ คือค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งและอุณหภูมิผิวต่อระหว่างอากาศและวัสดุ

ความจุความชื้น (Moisture Content) สามารถระบุได้ทั้งเป็นความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis, % w.b.) และ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis, % d.b.) ซึ่งใช้ฐานในการเปรียบเทียบแตกต่างกัน ความชื้นมาตรฐานเปียก หมายถึง การเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักรวมของวัสดุ ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักแห้งของวัสดุเท่านั้น ในการใช้คำนวณและออกแบบการอบแห้ง นิยมใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นมาตรฐาน

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้งคือสมบัติและประเภทของความชื้นของวัสดุ โดยปกติความชื้นที่อยู่ในวัสดุจะประกอบไปด้วยความชื้นรอบผิว (adsorbed moisture) และความชื้นในเนื้อวัสดุ (absorbed moisture) ซึ่งความชื้นรอบผิวจะเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ (relative humidity) ซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งยาวนานขึ้นอีกด้วย โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใด ๆ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุจะสมดุลกับความจุความชื้นอากาศที่ใช้ออบ โดยที่ความชื้นในวัสดุดังกล่าวจะไม่ลดต่ำกว่านี้ อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ตามเราเรียกความชื้น ณ จุดนี้ว่า ค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, \bar{X}_E)

อัตราการอบ (Drying Rate) เป็นตัวแปรที่สามารถบอกให้ทราบถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ค่าความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา หน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตชั่วโมง หรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรชั่วโมง โดยปกติการอบแห้งจะมีอัตราการอบแห้ง 2 ช่วง คือ

ก) Constant Rate Drying (R_c) คือ การอบแห้งในช่วงที่มีอัตราการระเหยน้ำต่อพื้นที่เป็นการอบแห้งในช่วงที่วัสดุมีความชื้นเหลือเพื่อความชื้นจึงเคลื่อนสู่ผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่ถ่ายจากลมร้อนมาที่ผิว ส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นรอบผิว (adsorbed moisture) หรือความชื้นอิสระ (unbound moisture) ช่วง C-D วัสดุบางประเภทอาจจะมีแต่ falling rate ตลิตการอบ การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของวัสดุลดลงถึงจุดความชื้นสมดุล

หลักการลดความชื้นโดยวิธีการอบแห้ง จะเห็นว่าองค์ประกอบการอบแห้งประกอบไปด้วย

- 1) แหล่งพลังงานความร้อน
- 2) พัดลมในการพาความร้อน
- 3) ถังอบวัสดุ

การเลือกใช้หรือการออกแบบเครื่องอบแห้งต้องพิจารณาถึงวัสดุที่ต้องการนำมาอบแห้ง

เนื่องจากเครื่องลดความชื้นนั้นมีหลายรูปแบบจึงมีทฤษฎีจำนวนมาก ต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน

การหาประสิทธิภาพรวมการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง สามารถคำนวณได้จากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อปริมาณความร้อนที่ให้ด้วยเชื้อเพลิงตามสมการที่ 2

$$n_t = \frac{m_w h_{fg}}{m_f LHV} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ	n_t	คือ ประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง, %
	m_w	คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg
	h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ, $\frac{kJ}{kg}$
	m_f	คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง, kg
	LHV	คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่ใช้, $\frac{kJ}{kg}$

2.6 ความชื้นวัสดุ

ปริมาณความชื้นของวัสดุแบ่งออกเป็น 2 ชนิด [20] คือความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียก จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ จะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้า ดังสมการที่ 3

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \quad (2.3)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง ใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจาก dry matter ของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นในการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้นมาตรฐานแห้งหาได้จากสมการที่ 4

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} \quad (2.4)$$

จากสมการ (3) และ (4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง ดังนี้

$$M_d = \frac{W_w}{1 - W_w} \quad (2.5)$$

และ

$$M_w = \frac{W_d}{1 + W_d} \quad (2.6)$$

เมื่อ	M_w	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.) อัตราส่วน
	M_d	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.) อัตราส่วน
	M_w	คือ	มวลของความชื้น
	W_d	คือ	มวลแห้งของวัสดุ

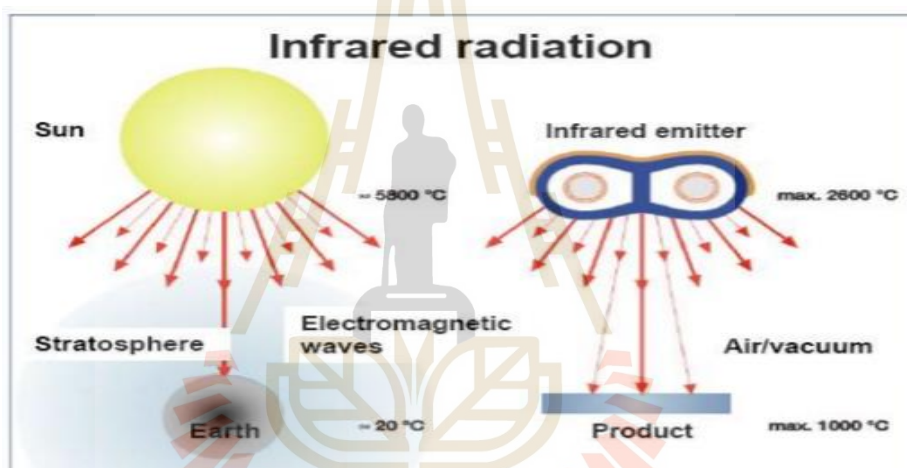
2.7 การหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้น [21] สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีโดยตรง (direct method) และวิธีโดยอ้อม (indirect method) วิธีโดยตรงเป็นการนำความชื้นออกจากวัสดุและทำการวัดปริมาณความชื้นนั้นวิธีที่เป็นพื้นฐานในการหาค่าความชื้นคือ 1) Over method 2) Infa-rad lamp method 3) Brown Duvel method ส่วนวิธีโดยอ้อมเป็นการใช้คุณสมบัติอื่นของวัสดุมาที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก (dielectric) วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ค่าที่ได้มีความถูกต้องต่อเนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบกับค่าวิธีพื้นฐาน

2.8 หลักการของรังสีอินฟราเรด

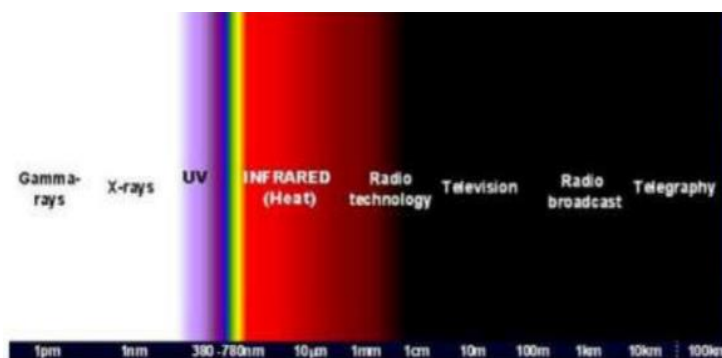
การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด [22] เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด ($0.76 \mu\text{m} - 1 \text{mm}$) ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ ช่วงรังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ คลื่นสั้น คลื่นปานกลาง และคลื่นยาว การดูดซับรังสีอินฟราเรด จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ วัตถุที่เป็นของแข็งส่วน

ใหญ่จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 เมตรได้ดี ยกเว้นโลหะที่ขัดขึ้นเงา เช่น ทองเงิน เป็นต้น การใช้งานรังสีอินฟราเรดจะต้องมีตัวปล่อยคลื่น (IR Emitter) ซึ่งประกอบด้วย ตัวปล่อยคลื่นสั้น (Short Wave) ตัวปล่อยคลื่นปานกลาง (Medium Wave) และ ตัวปล่อยคลื่นยาว (Long Wave) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ของโลก ก็คือ ดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวอย่างของ การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) มายังโลก พบว่าอุณหภูมิของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงถึง 10,240 °F (~6,000 °C) และอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.4-0.8 μm ซึ่งเป็นช่วงรังสีแสงที่มองเห็น (Visible Light) ดังนั้น การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนจึงถือได้ว่ามีค่าสูงกว่าการส่งถ่ายความร้อนโดยนำความร้อน (Conduction) และพาความร้อน (Convection) เป็นอย่างมาก



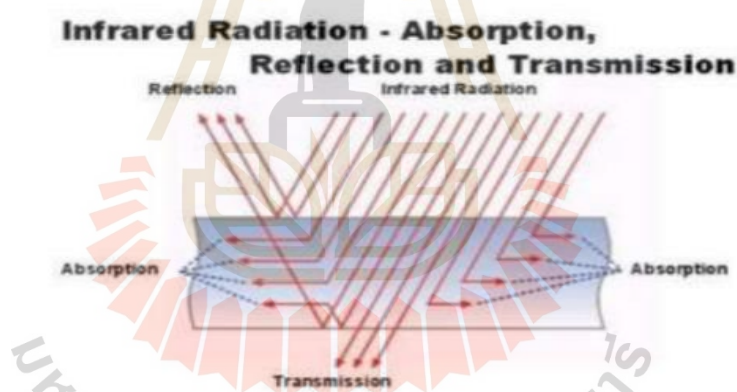
รูปที่ 2.5 แสดงการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และตัวปล่อยคลื่นอินฟราเรด

นอกจากนั้น การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดจะไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางแสง (Photochemical) เหมือนกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยตรงกับผิวหนังร่างกายของคน โดยรูปที่ 2.6 แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ



รูปที่ 2.6 แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีต่าง ๆ

ปรากฏการณ์ในขณะที่คลื่นรังสีอินฟราเรดตกกระทบวัตถุ [22] มี 3 แบบ คือ ส่งผ่าน (Transmission) ดูดซับ (Absorption) และสะท้อน (Reflection) ถ้าวัตถุนำความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีเพียงเฉพาะส่วนที่ดูดซับ (Absorption) เท่านั้น



รูปที่ 2.7 แสดงปรากฏการณ์ส่งผ่านความร้อนของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุ

อย่างไรก็ตาม หากให้ความร้อนกับวัตถุดำ (Black Body) [22] จะถือว่าการถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบมีค่ารวมกันเท่ากับ 100% ยกตัวอย่างเช่น ถ้าพลังงานสำหรับรังสีอินฟราเรดที่วัตถุสะท้อนออกมีค่า 30% และมีการส่งผ่าน 20% ดังนั้นวัตถุจะดูดซับรังสีเท่ากับ $100\% - 30\% - 20\% = 50\%$ เป็นต้น การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด (IR Heating) แบบต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าคลื่น Short Wave จะสามารถทะลุทะลวงได้ดีที่สุด และให้ความร้อนได้รวดเร็ว แต่สำหรับการให้ความร้อนที่ผิว จะต้อยกกว่าคลื่น Medium หรือ Long Wave

2.8.1 ประโยชน์ของรังสีอินฟราเรด [22]

1. ทำความร้อนและลดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่เตาอบไฟฟ้าที่ใช้รังสีอินฟราเรดสามารถทำความร้อนให้ผลิตภัณฑ์ได้ในเวลาไม่กี่วินาที
2. เนื่องจากการให้ความร้อนที่รวดเร็ว ทำให้ต้องการพื้นที่ว่างในเตาอบน้อยลง และเป็นเตาที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
3. มีการควบคุมที่แม่นยำ มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนเริ่มแรกและค่าบำรุงรักษาต่ำ

2.8.2 การประยุกต์ใช้งานรังสีอินฟราเรด

สภาพที่เหมาะสมในการใช้งาน การประยุกต์ใช้งานการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะการใช้งานโดยมีตัวอย่างการใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ การอบสี การอบผลิตภัณฑ์แป้ง การเคลือบภาชนะในการทำอาหาร การเคลือบสาร PVC บนผนัง การอบแห้งสารแม่เหล็กบนเทปคาสเซ็ท การอบแห้งผลิตภัณฑ์กระดาษ การอบแห้งกระดาษ การอบสีและแล็คเกอร์ การบัดกรี การทำให้หดตัวของโลหะ การเผากระเบื้อง เป็นต้น [22]

2.9 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

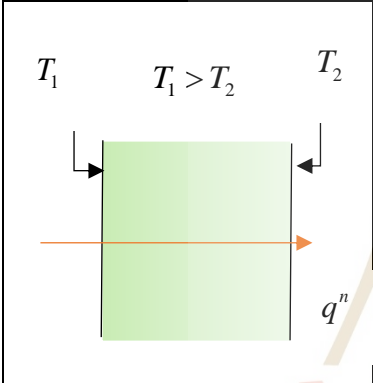
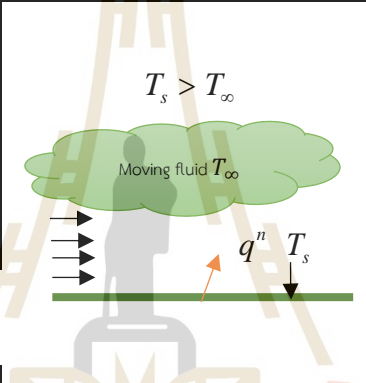
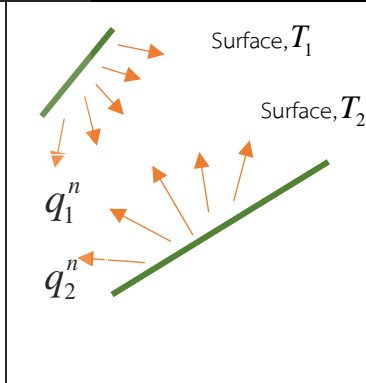
การถ่ายเทความร้อน [23] คือการส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้น พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ “ความแตกต่างของอุณหภูมิ” (Temperature Different) ถ้าตัวกลางสองตัวมีอุณหภูมิเท่ากันจะไม่เกิดการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิจึงเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) เพื่อให้เกิดการถ่ายเท อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ความลาดชันของอุณหภูมิ หมายถึง ความแตกต่างของอุณหภูมิต่อหน่วยความยาว หรืออัตราการลดลงของอุณหภูมิ สมการพื้นฐานสำหรับกระบวนการถ่ายโอน ดังสมการที่ 7

$$\text{Rate of Transfer Process} = \frac{\text{Driving force}}{\text{Resistance}} \quad (2.7)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแบบต่าง ๆ เมื่อมีเกรเดียนต์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่หนึ่ง เช่นของแข็ง หรือของไหล เทอมของการนำความร้อน (Conduction) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลาง ในขณะที่การพาความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่ เมื่อมี

อุณหภูมิแตกต่างกัน ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิหนึ่ง จะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้น ในสถานะที่ปราศจากตัวกลางใด ๆ จะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวสอง พื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้ ดังนั้น การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบจำเป็นจะต้องทราบถึง กลไกการถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำพาความและการแผ่รังสี

Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces
		

สถานะสม่ำเสมอ และไม่สม่ำเสมอ (Steady State and Unsteady State) สถานะสม่ำเสมอ (Steady state) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลาหรืออาจเขียนอยู่ในรูปสมการได้ว่า

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (2.8)$$

สถานะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อน มาเป็นเวลานานพอสมควรจนอุณหภูมิในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าเราจะถ่ายเทความร้อนให้วัตถุไปอีกนานเท่าใด สถานะสม่ำเสมอ ซึ่งมีความหมายว่า อุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เมื่อพิจารณาให้ดีจะเห็นว่า หากเกิดสถานะสม่ำเสมอแล้วอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนที่จุดใด ๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน แสดงว่า ถ้าความร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางของ X อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ X ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยใช้ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ที่บางมากที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ความ

ร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในปริมาตรควบคุมนั้นหากจุด ๆ นั้น มีอุณหภูมิคงที่ก็หมายความว่า ปริมาตรควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่า ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้าปริมาตรควบคุมจะเท่ากับความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุม หากพิจารณาอย่างเดียวกัน ปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทาง X แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่เปลี่ยนแปลงกับ X สภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State หรือ Transient State) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่ง ในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป หรืออาจเขียน ดังสมการที่ 9

$$\frac{\partial T}{\partial t} \neq 0 \quad (2.9)$$

2.10 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน [23] โดยการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็น ตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็งของเหลวและแก๊ส แต่เนื่องจากมี การไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งทึบแสงจะไม่มี การเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมี แต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียว อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วน กับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูณกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการที่ 10 สมการที่ 11 และสมการที่ 12

$$\text{Rate Conduction} \propto \frac{(\text{Area})(\text{Temperature Diffence})}{\text{Thickness}} \quad (2.10)$$

$$q_{cond} \alpha = kA \frac{dt}{dx} \quad (2.11)$$

เมื่อ	q_{cond}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดนการนำความร้อน (Wall or J/s)
	A	คือ	พื้นที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)
	T	คือ	อุณหภูมิ (K)
	X	คือ	ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

ความสามารถในการนำความร้อนของสารวัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k มีหน่วยเป็น W/m K ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่านอัตราการถ่ายนำความร้อน ดังสมการที่ 12 จึงมีค่าเป็น

$$q_{cond} \alpha = kA \frac{dt}{dx} \quad (2.12)$$

ค่าการนำความร้อน k เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจาก อนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของเหลวของแข็ง และแก๊ส ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแก๊สไม่สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับการนำความร้อนส่วนใหญ่ของวัสดุจึงได้มาจากการวัดและการทดสอบ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านการปฏิบัตินั้น ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิเฉลี่ย สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่า k สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่าง ๆ เช่น สารอโลหะ ก็จะมีค่า k ต่ำ ค่า k จึงเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารที่สำคัญมากในการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบ จากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูง จะเรียกว่า สารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า k ต่ำจะ เรียกว่า ฉนวน (Insulator) ตัวอย่างค่า k ของสารบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2 สำหรับค่าการนำความร้อนของวัตถุและของแก๊สอื่น ๆ นั้น สามารถสืบค้นจากหนังสือที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายโอนทั่วไป

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด

วัตถุ	ค่าการนำความร้อน W/mK
โลหะบริสุทธิ์	35-430
โลหะผสม	20-200
โลหะเหลว	9-90
ของเหลว (อโลหะ)	0.2-2.0
ของแข็ง (อโลหะ)	0.02-20
ฉนวน	0.02-0.40
ก๊าซ	0.002-0.2

2.11 การพาความร้อน (Convection)

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่าง คือ พลังงานเกิดการถ่ายเทอันมีผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของของไหลการถ่ายเทลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ เช่น ในระบบที่มีเกรเดียนต์อุณหภูมิจะมีการถ่ายเทความร้อน

ได้และเนื่องจากโมเลกุลในกลุ่มของไหลจะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ด้วย ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลและการเคลื่อนที่ของของไหลส่วนใหญ่การถ่ายเทความร้อนโดยการพา แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.11.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural or Free Convection)

การพาความร้อนแบบธรรมชาติ คือการเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของของแข็งและของไหลโดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก วัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยู่ในของไหลซึ่งอยู่นิ่งถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของไหลความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่ชิดกับผนังทำให้ความหนาแน่นของของไหลที่อยู่ชิดผนังต่ำลงซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้นของไหลที่อยู่ต่ำกว่าก็จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล

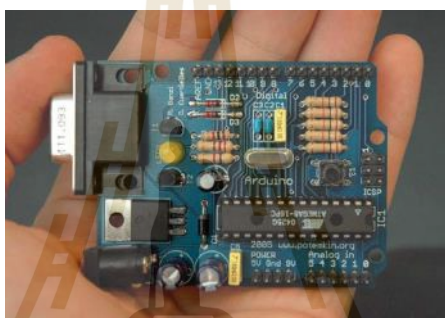
2.11.2 การพาโดยการบังคับ (Forced Convection)

การพาโดยการบังคับ เกิดขึ้นเมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วด้วยกลไกภายนอก [24] เช่น พัดลมหรือสูบน้ำ เมื่อของเหลวมีความเร็ว เราจะต้องทราบกลไกในการเคลื่อนที่ของของไหลก่อน โดยปกติเราจะแบ่งการไหลของของไหลเป็นสองแบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ในการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งของไหลไหลเป็นชั้น ๆ ขนานกับความเร็วยังถ่ายเทจากผิวของของแข็ง โดยการนำ และถ่ายเทต่อ ๆ กันไปในของไหลโดยการนำ ผ่านชั้นของของไหล ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่ระเบียบ มีการเคลื่อนที่ที่ต่างกับทิศทางของการไหลด้วยการเคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากอนุภาคของของไหลที่ได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่นำความร้อนไปยังที่อื่น

2.12 บอร์ด Arduino

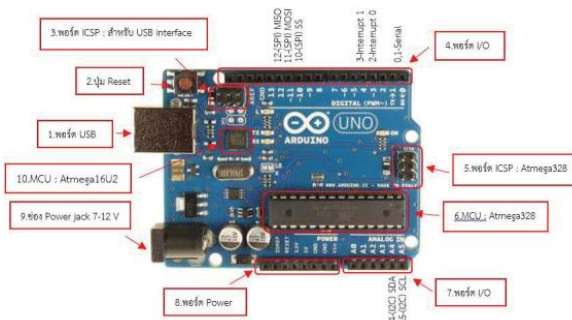
Arduino เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งใช้ในการเรียกโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล AVR แบบ Open Source โดยจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เริ่มต้นพัฒนาสร้างบอร์ดและวงจรขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ เพื่อพัฒนาวัตถุตอบโต้แบบพึ่งพาตนเอง (Standalone) สามารถพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบได้หลากหลายระบบปฏิบัติการได้ง่าย [25] Arduino RS232 เป็นต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2004 ถูกพัฒนาโดยนาย MassimoBanzi จากการที่นักเรียน นักศึกษาที่เรียนเกี่ยวกับวิชาอิเล็กทรอนิกส์ในเมืองไอวีเรีย (Ivrea) ประเทศอิตาลีต้องซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์เบสิก (BASIC Stamp) ที่มีราคาสูงถึง 100 ดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งนายMassimo Banzi เห็นว่านักเรียนต้องซื้อสินค้าราคาแพง ราคาไม่สมเหตุสมผล จึงปรึกษากับนายHernando Barragan ให้ช่วยออกแบบวงจรขึ้นมา และนอกจากนี้ นาย David Cuartielles ได้แนะนำว่าควรให้บอร์ดนี้เป็นระบบโอเพนซอร์ซ (Open Source) เพื่อให้ทุกคนสามารถเข้าถึงได้

Arduino Uno R3 [25] บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source บนแพลตฟอร์ม Arduino ของแท้จากผู้ผลิต arduino.cc ประเทศอิตาลี ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ใช้ชิพ ATmega328 รั้นที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input / Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือแม้แต่ผู้ที่ไม่เคยเรียนรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์มาก่อนก็สามารถนำมาสร้างต้นแบบที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ได้ จากรูปที่ 2.8 แสดง Arduino RS232 ต้นแบบของอาคุยโน้



รูปที่ 2.8 แสดง Arduino RS232 ต้นแบบของอาคุยโน้ [31]

อาคุยโน้ใช้พื้นฐานของภาษาซีพลัสพลัส (C++) เป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์ มีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) นักพัฒนาไม่จำเป็นต้องเขียนการควบคุมเองทั้งหมด สามารถเลือกจากคำสั่งจากโปรแกรมแปลภาษาซี (C-Compiler) ทำให้การพัฒนาเป็นไปได้ง่าย ดังรูปที่ 2.9 แสดง Layout & Pin out Arduino Board



รูปที่ 2.9 แสดง Layout & Pin out Arduino Board [31]

จากรูปที่ 2.9 ส่วนประกอบพื้นของอาตุยโนจะประกอบด้วยทั้งหมด 10 ส่วน [26] ได้แก่

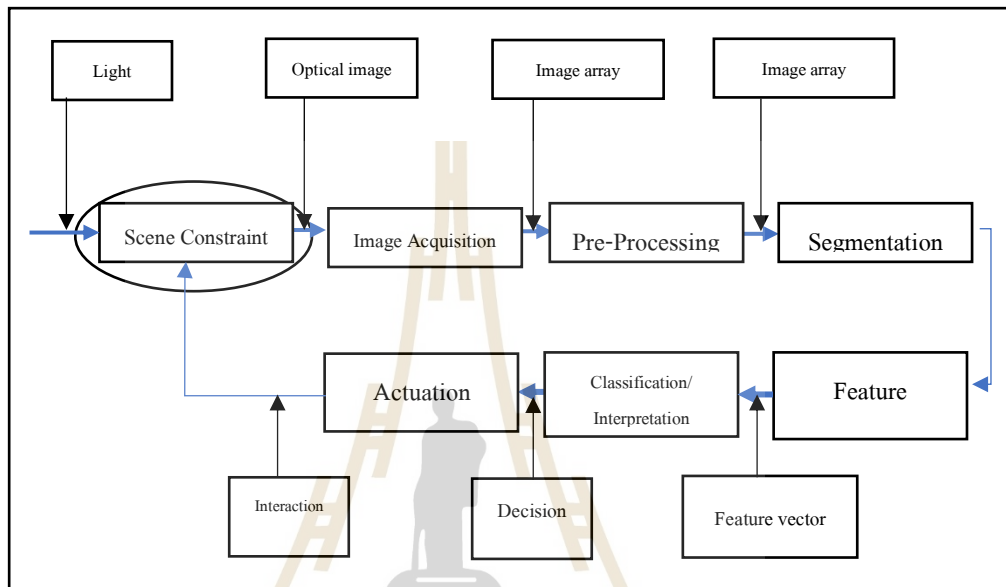
- 1) USBPort ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- 2) Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- 3) ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
- 4) I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
- 5) ICSP Port Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
- 6) MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
- 7) I/OPort นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขาA0-A5
- 8) Power Port ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
- 9) Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
- 10) MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

2.13 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพการแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบเพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบคัดแยกเกรด

ระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ (Automated Visual Inspection System) เป็นการนำเอาประมวลผลด้วยภาพไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลของการตรวจสอบดังกล่าวอาจจะใช้เพื่อคัดแยกงานดีออกจากงานเสีย หรือใช้เพื่อคัดเลือกเกรดของชิ้นงาน และจากความต้องการจากด้านของอุตสาหกรรมที่ต้องการระบบที่สามารถทำงานได้รวดเร็วมากที่สุด ทำให้การทำงานของระบบอัตโนมัติ จะต้องใช้เวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้น วิธีการ

คำนวณต่าง ๆ จะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด นอกจากนั้น ความรู้ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในผู้ที่ปฏิบัติงานกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มาก่อน จะต้องถูกนำมาใช้เพื่อให้ระบบสามารถตัดการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปให้ได้มากที่สุด และสามารถอธิบายขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ [27] ดังรูปที่ 2.10



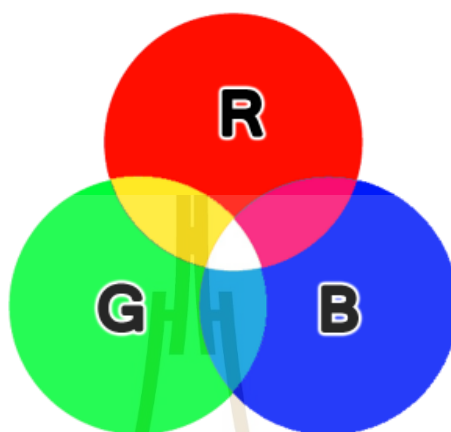
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ [27]

2.14 ทฤษฎีมาตรฐานแม่สี RGB

2.14.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึม จะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามที่สายตามองเห็นได้ 7 สี คือ แดง แสด เหลือง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสี ที่มีช่วงคลื่นที่สายตาสามารถมองเห็นได้ แสงสีม่วงมีความถี่คลื่นสูงที่สุดคลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วงเรียกว่า อุลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และคลื่นแสงสีแดง มีความถี่คลื่นต่ำที่สุด คลื่นแสงที่ต่ำกว่าแสงสีแดงเรียกว่า อินฟราเรด (Infrared) คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วง และต่ำ กว่าสีแดง นั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้ และเมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจากแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง ซึ่งใกล้เคียงกับตามนุษย์มากที่สุด และแต่ละช่องสีจะสามารถสร้างระดับสีได้ 256 ระดับ ดังนั้นจึงสามารถสร้างสีที่แตกต่างกันได้ถึง 16,777,216 สีต่อ 1 พิกเซล เมื่อนำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก 3 สี คือ สีแดงมาเจนต้า (Magenta) สีฟ้าไซแอน (Cyan) และสีเหลือง (Yellow) และถ้าฉาย

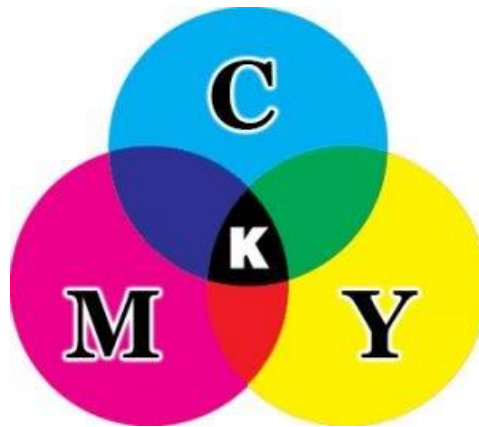
แสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาว จากคุณสมบัติของแสงนี้เราได้นำมาใช้ประโยชน์ทั่วไป ในการฉายภาพยนตร์ การบันทึกภาพวิดีโอ ภาพโทรทัศน์การสร้างภาพเพื่อการนำเสนอทางจอคอมพิวเตอร์ และการจัดแสงสีในการแสดง เป็นต้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระบบสี RGB [28]

2.14.2 ระบบสี CMYK

ระบบสี CMYK เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ CMYK ย่อมาจาก cyan (ฟ้าอมเขียว) magenta (แดงอมม่วง) yellow (เหลือง) key (สีดำ - ไม่ใช่ B แทน black เพราะจะสับสนกับ blue) ซึ่งเป็นชื่อสีที่นำมาใช้ การผสมสีทั้งสี่นี้ จะทำให้เกิดสีได้อีกหลายร้อยสี นำมาใช้ในการพิมพ์สีต่าง ๆ ซึ่งปกติการเลือกใช้สีนั้น จะมีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือ CMYK และ RGB สามารถแบ่งแยกประเภทการใช้งานได้ง่าย ๆ นั่นก็คือ ถ้าเป็นสีที่ต้องพิมพ์ออกมา ไม่ว่าจะพิมพ์ในรูปแบบใดก็ตาม จะต้องใช้ค่าสีของ CMYK แต่ถ้าต้องการสีที่แสดงผลออกทางหน้าจอ ก็จะเลือกใช้ RGB เท่านั้น ซึ่งหลักการดังกล่าว ในปัจจุบัน ยังมีผู้มีความเข้าใจในส่วนนี้น้อยมาก เนื่องจากว่า นักออกแบบมือสมัครเล่น หรือ มือใหม่ เวลาต้องการจะทำงานประเภทสิ่งพิมพ์ ก็มักตั้งค่าสีเป็น RGB เพราะค่าสีดังกล่าวสีสดกว่า แต่เมื่อสั่งพิมพ์แล้ว ทำให้ค่าสีที่ออกมาผิดเพี้ยน มากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับสีที่เลือก เช่น เลือกสีแดง อาจจะได้สีชมพู เหลือสีม่วง อาจจะได้สีน้ำเงิน ดังนั้น ผู้ที่ใช้โหมดสีควรจะทำความเข้าใจของงานให้มาก เพื่อทำงานที่ออกมาจะได้ค่าสีที่ตรงกับความต้องการ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบสี CMYK [28]

2.14.3 ระบบสี Grayscale

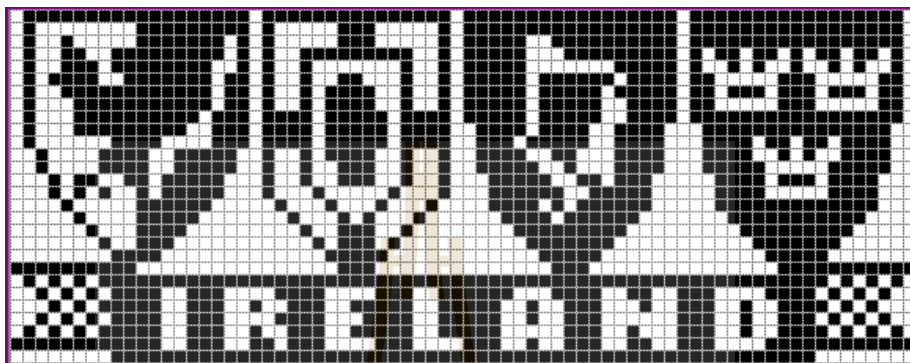
ระบบสีแบบ Grayscale จะจัดการแต่ละพิกเซลในแบบ 8 บิต เหมือนเป็นสวิทช์ เปิด - ปิด แสง 8 อัน เพื่อสร้างเป็น 1 สีดำ, 1 สีขาว, และ 254 ระดับสีเทา มักใช้กับภาพขาว - ดำ หรือ แปลงภาพสีเพื่อไปใช้ในงานพิมพ์แบบขาว - ดำ ซึ่งทำให้ขนาดของไฟล์ลดลง 2 ใน 3 ของ RGB ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ระบบสี Grayscale [28]

2.14.4 ระบบสี Bitmap

ระบบสีแบบ Bitmap จะประกอบด้วยสี 2 สี คือ ขาวและดำ บางครั้งเรียกว่า ภาพแบบ 1 บิต ซึ่งแต่ละพิกเซลในภาพจะเป็นได้เพียงขาว หรือ ดำ เท่านั้น มักใช้กับภาพที่วาดหมึกดำ, ภาพลายเส้น, ภาพสเกตช์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบสี Bitmap [28]

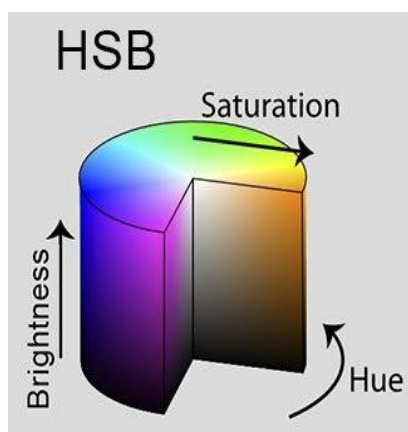
2.14.5 ระบบสี HSB

ระบบสีแบบ HSB เป็นระบบสีที่เลียนแบบการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- Hue คือ สีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตาของเรา ซึ่งมักเรียกสีตามชื่อสี เช่น สีเขียว สีเหลือง สีแดง เป็นต้น

- Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก

- Brightness คือ ระดับความสว่างของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 ความสว่างจะน้อย ซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสว่างมากที่สุด ดังรูปที่ 2.15



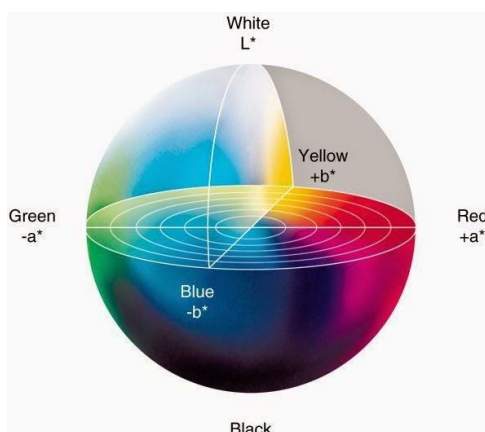
รูปที่ 2.15 ระบบสี HSB [28]

2.14.6 ระบบสี Lab

ระบบสีแบบ Lab เป็นระบบสีแบบเก่าที่ถูกกำหนดขึ้นในฝรั่งเศส โดยสร้างขึ้นเพื่อใช้วัดสีที่ตาของเราสามารถรับได้ แต่เนื่องจากขณะนั้นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลยังไม่ถือกำเนิดขึ้น ดังนั้นระบบสี Lab นี้จึงไม่ขึ้นอยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์ และระบบปฏิบัติการใดโดยเฉพาะ ระบบสี Lab จะวัดแสงและสีโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

- L หรือ Lightness เป็นการกำหนดความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 จะเป็นสีขาว
- a เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปเป็นแดง
- b เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปเหลือง

ระบบสี Lab นี้จะใช้ได้ดีกับภาพที่นำมาจาก Photo CD หรือ DVD, หรือภาพที่โอนย้ายระหว่าง ระบบปฏิบัติการ เช่น จาก Photoshop Mac ไปยัง Photoshop Win และภาพที่จะนำไปพิมพ์ในเครื่องพิมพ์แบบ PostScript Level 2 หรือ 3 ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ระบบสี Lab [28]

2.14.7 ระบบสี Indexed

ระบบสีแบบ Indexed จะมีข้อได้เปรียบ 2 ประการ คือ เราสามารถสร้างภาพที่มีขนาดไฟล์เล็กเท่าแบบ Grayscale (พิกเซลขนาด 8 บิต) และสามารถใส่สีแทนระดับสีเทาได้โดยจะสร้างสีได้ 256 สี เท่ากับระดับสีเทาเป็นภาพแบบ Grayscale

จากทฤษฎีสี สีที่เกิดขึ้นในวงจรสีนั้น ต่างมีคุณลักษณะต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างสรรค์งานด้านศิลปะงานออกแบบ หรืองานอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้มากมายการใช้สีหรือการนำสีไปใช้ในลักษณะต่าง ๆ เป็นการประยุกต์หรือดัดแปลงไปจากการจัดระบบสีเพื่อสร้างสรรค์สิ่งใด ๆ ควรคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ เช่น ความสวยงาม ความกลมกลืน ความน่าสนใจและความสอดคล้องกับเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ขององคค์งาน เพราะสีสามารถทำให้ผลงานนั้นดูมีคุณค่าและดูมีค่าลงได้ หากใช้ไม่ถูกต้อง ดังนั้นการใช้สีจึงจำ เป็นต้องคำนึงถึงหลักการของสีเพื่อให้ได้ผลงานที่ถูกต้อง สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งหลักการใช้สีมีอยู่หลายประการดังนี้

1. การใช้สีเอกรงค์ (Monochrome) หมายถึงการใช้สีเดียว หรือการใช้สีที่แสดงความเด่นชัด ออกมาเพียงสีเดียวแต่มีการลดหลั่นกัน ในเรื่องน้ำหนักสีเพื่อให้เกิดความแตกต่างวิธีการใช้สีเอกรงค์ คือจะใช้สีใดสีหนึ่งที่เป็นสีแท้(Hue)หรือมีความสด (Intensity) เป็นตัวยืนเพียงสีเดียวให้เป็น จุดเด่นของภาพ ส่วนประกอบรอบๆนั้นจะใช้สีเดียวกันแต่ลดความสดของสีให้น้อยกว่าสีหลัก สีที่นำมาเป็นส่วนประกอบอาจแบ่งน้ำหนักได้

2. การใช้สีกลมกลืน (Harmony) หมายถึงการเคียงคู่กันของสีต่างๆ ซึ่งไปด้วยกันโดยไม่ขัดแย้ง หรือ ตัดกัน ความกลมกลืนของสีทำได้หลายลักษณะคือ

2.1 กลมกลืนด้วยค่าของน้ำหนักของสี ๆ เดียว (Total Value Harmony) คือการใช้สีเย็นเพียงสี เดียวแต่มีค่าหลายน้ำหนักหรือเป็นแบบเดียวกับ สีเอกรงค์อาจใช้การผสมสีขาว ให้น้ำหนักอ่อนลงและผสมสีดำ ให้น้ำหนักเข้มข้น

2.2 กลมกลืนโดยใช้สีใกล้เคียง (Simple Harmony) เป็นการใช้สีข้างเคียง กัน ในวงจรสีซึ่งมีลักษณะสีใกล้เคียงกัน เช่น ม่วง - ม่วงน้ำ เงิน - น้ำ เงิน หรือเขียวเหลือง - เขียว - เขียวน้ำ เงิน

2.3 สีกลมกลืนโดยใช้สีคู่ผสม (Two Colors Mixing) หมายถึง สีคู่ใดคู่ ใดหนึ่งทีผสมกันแล้ว ได้สีที่ 3 เช่น สีน้ำเงิน ผสมกับ สีเหลืองได้สีเขียวแล้วนำทั้ง 3 สีมาใช้ในงาน เดียวกัน

2.4 สีกลมกลืนโดยใช้วรรณะของสี (Tone) หมายถึง นำสีในกลุ่มวรรณะ เดียวกันมาจัดอยู่ด้วยกัน เช่น สีในวรรณะร้อน เช่น แดง ส้ม เหลือง ม่วงแดง หรือสีในวรรณะเย็น ได้แก่ น้ำเงิน ม่วง เขียว เขียวน้ำเงิน เป็นต้น

3. การสร้างสภาพสีโดยรวม (Tonality) หมายถึงการทำให้เป็นสีโดยภาพรวม หรือ เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ที่ปกคลุมหรือครอบงำ สีอื่นอยู่ ถึงแม้ในรายละเอียดส่วนอื่นอาจมีสีอื่นปะปนอยู่ ก็ตาม แต่ก็ไม่ทำให้ภาพสีโดยรวมขัดแย้งกัน เกินไป การใช้สีโดยรวมช่วยให้ภาพมีความกลมกลืนและ มีเอกภาพ

4. การใช้สีขัดกัน (Discord) หมายถึงการกลับค่าของน้ำหนักระหว่างสีแก่กับสีอ่อน โดยการกลับ สีที่แก่มาเป็นสีอ่อนด้วยการผสมสีขาว หรือทำให้เจือจางลง เพื่อให้มีน้ำหนักอ่อนกว่าอีก สิ่งหนึ่งที่เป็นสีที่อ่อน แต่ปรับให้เป็นสีแก่ โดยการผสมสีดำ หรือสีเข้ม เพื่อเพิ่มน้ำหนักสีให้เข้มข้นแล้ว นำมาจัดเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างความ แตกต่างหรือความขัดแย้งที่เหมาะสม ทำให้ผลงานดูมีจังหวะ น่าสนใจกว่า การใช้สีกลมกลืนซึ่งอาจดูซ้ำ ๆ และจืดชืดการกลับค่าของสีมักใช้เพื่อแต่งแต้ม ภาพเป็น บางจุดให้เกิดความน่าสนใจ ซึ่งมักจะใช้คู่สีระหว่างสีแก่กับสีอ่อนที่มีความเข้มต่างกันอย่างชัดเจน เช่น โครงสีของภาพเป็นสีเหลืองซึ่ง เป็นสีอ่อน แต่กลับเพิ่มน้ำหนักสีให้เข้มข้น ขณะเดียวกัน ก็นำสีม่วงซึ่งเป็นสีแก่มาลดค่าน้ำหนักลงให้อ่อนกว่า สีเหลือง โดยการนำ มาเป็นส่วนประกอบในปริมาณน้อยจะทำให้ภาพไม่จืดชืดและ น่าสนใจขึ้น

5. ระยะเวลาของสี (Perspective of Colour) หมายถึงการใช้สีซึ่งมีผลต่อความรู้สึกเรื่อง ระยะเวลาไกลใกล้ของภาพ โดยการนำ สีแท้มาผสมให้สีหม่น ลงโดยการทำให้เป็นสีกลาง เช่น การผสมสี ตรงกันข้าม หรือสีกลาง เพื่อบ่งบอกระยะ ซึ่งโดยทั่วไป แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะใกล้ (Foreground) ระยะกลาง (Middleground) และระยะไกล (Background) โดยมีหลักการให้สีคือ สีระยะใกล้ สามารถใช้สีสด หรือเข้มกว่า ระยะที่ไกลออกไป สี ที่อยู่ไกลออกไปมากเท่าใดค่าน้ำหนักสีก็จะอ่อน

และจะดูเป็นสีกลางมากยิ่งขึ้น เช่น ภาพทิวทัศน์ที่ บ่งบอกถึงระยะไกลใกล้และช่วงเวลา ซึ่งสีจะเป็นตัวช่วยสร้างบรรยากาศให้ภาพได้เป็นอย่างดี

6. จุดเด่นจากสี (Dominance) หมายถึงการใช้สีที่ทำให้ส่วนสำคัญ มีความเด่นชัด สะดุดตาเป็นแห่งแรก หรือเป็นจุดที่ดึงดูดความ สนใจจากผู้ดูมากที่สุดในผลงานนั้นการทำ ให้เกิดจุดเด่นจะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สีโดยอาจเลือกใช้ สีที่ส่งเสริมให้เกิดพลังสีเด่น ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนพื้น และส่วนเด่นหรือจุดสนใจ ซึ่งมี หลายเทคนิควิธี การใช้สีตัดกัน หรือคู่ตรงข้ามกัน เช่น พื้นสีน้ำเงิน จุดเด่นสีเหลือง การให้จุดเด่นเป็นสีแท้ส่วนพื้นเป็นสีที่ถูกกลดน้ำหนักลง โดยการทำให้สีหม่น สีนวล สีคล้ำ หรืออาจใช้สีดำเพื่อขับให้สีแท้ยิ่งเด่นชัดขึ้น

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่าที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตู้อบแห้งพริกด้วยรังสีอินฟราเรด ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ มาประยุกต์ใช้เพื่อการอบแห้งวัสดุ ซึ่งรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.15.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตู้อบพริก

พชร ว่องไพศาลกิจ และคณะ [29] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำที่เสริมการทำงานด้วยเครื่องอุ่นอากาศเทอร์โมอิเล็กทริก งานวิจัยนี้มีการนำเครื่องปรับสภาวะอากาศทำหน้าที่อุ่น และลดความชื้นอากาศก่อนนำไปให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้อุณหภูมิอากาศอบแห้งตามต้องการ มีการเปรียบเทียบผลการตากแห้งพริกชี้หูแดงด้วยแสงแดดธรรมชาติ จากการทดลองดังกล่าวพบว่า เครื่องปรับสภาวะอากาศสามารถควบคุมความชื้นในอากาศสูงสุด 0.083 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และยังลดความชื้นของพริกชี้หูแดงลงได้ร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก

อัจฉรา แซ่ไคว้ และคณะ [23] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพกพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง Page ทำนายผลจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทยด้วยรังสีใต้ดวงทั้งแบบขั้นตอนเดียว ส่วนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนโดยไม่โครเวฟกับลมร้อนสามารถทำนายโดยแบบจำลอง Logarithmic พบว่าในช่วงแรกของการทดลองส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน จากการทดสอบคุณภาพทางกายภาพของพริกไทยดำ การหัตถ์ที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำเกิดจากการหัตถ์สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผิวภายนอกของพริกไทยแห้งทำให้เมล็ดพริกไทยหัตถ์ได้น้อยลง

2.15.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบรังสีอินฟราเรดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

อำเภอศักดิ์ ทีบุญมา และคณะ [30] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องการอบแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรด รังสีอินฟราเรดมีการแบ่งย่อยออกเป็น 3 ระดับ คือ รังสีอินฟราเรดไกล ช่วงความยาวคลื่น 0.75-3 μm รังสีอินฟราเรดกลาง ช่วงความยาวคลื่น 3-25 μm และรังสีอินฟราเรดใกล้ ช่วงความยาวคลื่น 25-100 μm รังสีอินฟราเรดมีจุดสนใจคือ พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อน งานวิจัยนี้ศึกษาความเร็วและกำลังวัตต์ของอินฟราเรดต่อระยะเวลาการอบแห้ง อุณหภูมิ และสีของผลิตภัณฑ์ จากการทดลอง พบว่า เมื่อลดความเร็วและเพิ่มกำลังไฟฟ้า จะส่งผลทำให้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง ขณะที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้น

อนุสรนา นาคี และคณะ [31] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน จะพิจารณาคคุณภาพของใบเตย ได้แก่ สี และร้อยละการคืนตัวของใบเตย และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยทดลองความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย เวลา และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด ผลการวิจัยพบว่า อัตราความชื้นมีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยใช้แบบจำลอง Logarithmic สามารถทำนายการอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W ร่วมกับลมร้อนและลมร้อนเพียงอย่างเดียว ส่วนแบบจำลอง Page สามารถทำนายการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 500 W ร่วมกับลมร้อนได้อย่างครอบคลุม

วัชรินทร์ ดงบัง [32] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องรังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร งานวิจัยนี้อธิบายการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่อยู่ในรูปของตัวทำความร้อนในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การอบ การคั่ว รวมทั้งการอบแห้ง พบว่า รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านอาหารแต่ละชนิดด้วยระยะความลึกประมาณ 1-18 มิลลิเมตร การประยุกต์ใช้ความร้อนนี้จะช่วยรักษาค่าทางโภชนาการ ลักษณะทางกายภาพ และรสชาติที่ดีของอาหารได้

ปัญญา สำราญหัตต์ และคณะ [33] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องการควบคุมอุณหภูมิสำหรับห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติของห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ตามตำแหน่งการอบจริงทั้งก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ มีขั้นตอนการดำเนินการ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลความต้องการและศึกษาเงื่อนไขการอบกล้วยม้วน ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ และขั้นตอนสุดท้ายจะเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง จากผลการทดลองพบว่าการปรับปรุงเพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในห้องอบตามที่ต้องการ (ไม่เกิน 60 °C) จะต้องมีการสะสมอุณหภูมิจากแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 3 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย และหลังจากที่มีอุณหภูมิสูงตามต้องการแล้ว

อุณหภูมิจะมีการสะสมอย่างต่อเนื่องสูงถึง 75 °C โดยเฉลี่ย เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.15.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

ณัฐพล ศรีสิทธิโกศลกุล [34] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งเครื่องเทศและสมุนไพร งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ทำการทดลองอบแห้งกับดอกกระเจี๊ยบจำนวน 6 ครั้ง และทดลองกับพริกจำนวน 2 ครั้ง ด้วยวิธีอบแห้งจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่สร้างเป็นหลังคาของโรงอบแห้ง และพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของอบแห้งและหาผลเฉลยของแบบจำลองโดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (finite difference method) จากการทดลอง พบว่า สามารถอบแห้งดอกกระเจี๊ยบและพริกจำนวน 200 กิโลกรัมให้แห้งภายใน 3 วัน ผลดีคือผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีคุณภาพดี ไม่ได้รับความเสียหายจากการเปียกฝน หรือการรบกวนของสัตว์และแมลงต่าง ๆ อีกทั้งยังทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพบว่า ค่าอุณหภูมิอากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองมีค่าสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด

อนิรุทธิ์ ต่ายขาวและสมบัติ ชีชะทรัพย์ [35] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ และชนิดพาความร้อนแบบบังคับ มีหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติจะอาศัยความหนาแน่นของอากาศภายในเครื่องอบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และจะมีความชื้นสัมพัทธ์และมีความหนาแน่นลดลง ส่วนชนิดพาความร้อนแบบบังคับเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พัดลมช่วยในการพาความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง จะมีแผงรับรังสีแยกออกจากตัวเครื่องและมีการหุ้มฉนวนที่ตัวเครื่องเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 650.5 W/m² และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 32.3 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องแห้งจะอยู่ในช่วง 45-65 °C ที่ อัตราเร็วลม 0.56-0.94 m/s สามารถประยุกต์ใช้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมในครัวเรือน อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และอำไพศักดิ์ ทิบุญญา [36] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลต่อประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ออกแบบ และสร้างเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ จากผลการทดลอง พบว่า ค่าที่พลักซ์ความร้อนเดียวกัน อัตราส่วนสมมูลที่ทำให้ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุดคือ 2 รองลงมาคือ 1.5, 1 และ 0.5 ตามลำดับ อีกทั้งผลของพลักซ์ความร้อนที่มีต่อประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มากที่สุดคือ 800 W/m² เท่ากับร้อยละ 61.99 ที่อัตราส่วนสมมูล 2 พบอีกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ

ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มพลังความร้อน

จักรกฤษณ์ สารการและคณะ [37] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องการอบแห้งรังสีอินฟราเรดร่วมกับแสงอาทิตย์สำหรับสับปะรดหั่นแว่นในตู้อบแห้งแบบถาดหมุน งานวิจัยนี้จะออกแบบระบบให้ความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำหรับอบแห้งสับปะรดหั่นแว่น ปัจจัยที่ใช้ในการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของภาค และพิจารณาจากสีที่ผิวด้านนอก น้ำหนัก การหดตัว และปริมาณความชื้น จากผลการทดลองเพื่อหาอัตราการอบแห้งพบว่า สับปะรดมีความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นมากกว่าสับปะรดที่แช่อิมที่ความเข้มข้น 55 องศาบริกซ์ ใช้เวลาการอบแห้งให้เหลือความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์แห้งนานกว่าสับปะรดแช่อิม โดยอุณหภูมิที่สูงทำให้อัตราการอบแห้งสูงตามไปด้วยและเวลาการอบแห้งลดลง

2.15.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing)

จิตรพงษ์ เจริญจิตร และคณะ [38] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่อง ระบบแยกประเภทไข่ม่วงด้วยวิธีการประมวลผลภาพ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการศึกษาหาสี ขนาด และความกลมของไข่ม่วงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไข่ม่วง เพื่อช่วยในการเลือกซื้อไข่ม่วง โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนเตรียมภาพก่อนการประมวลผลซึ่งเป็นการเตรียมข้อมูลก่อนที่จะทำการประมวลผลโดยการทำภาพสีขาวดำ การตัดขอบ การปรับขนาดภาพ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการหาลักษณะพิเศษ โดยการหาค่าสีการหาขนาด และการหาค่าความกลมของไข่ม่วง ขั้นตอนสุดท้ายขั้นตอนการแสดงผล โดยการแสดงผลลัพธ์ออกทางหน้าต่างที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับการทดสอบความถูกต้องของระบบโดยใช้ภาพไข่ม่วง จำนวน 16 ภาพ ระบบให้ความถูกต้องคิดเป็นประมาณ 90 %

2.15.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับทฤษฎีมาตรฐานแม่สี RGB

Liu [39] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่อง Rice Color Inspection Based on Image Processing Technique ผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าสีของเมล็ดข้าวเพื่อจะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของข้าว โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ระบบสีที่ผู้วิจัยเลือกใช้เพื่อมาเปรียบเทียบกันคือระบบสีแบบ RGB และระบบสีแบบ HIS ที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ Hue, Saturation และ Brightnessผลที่ได้คือระบบสี RGB นั้นสามารถแสดงผลของภาพที่ออกมาทางจอภาพจะสอดคล้องกับสีตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง ส่วนระบบสี HIS นั้นเป็นระบบสีที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้สึกของมนุษย์ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเข้าใจและง่ายต่อการวิเคราะห์สีของวัตถุเป้าหมายได้มากกว่าการใช้ระบบสี RGB

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ กล่าวถึงรายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ อุปกรณ์และเครื่องมือวัด ซึ่งประกอบไปด้วย ชื่อรุ่น ขนาด และมาตรฐาน รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ได้แก่ การออกแบบตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้า แบบอัตโนมัติ ด้วยรังสีอินฟราเรด ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ ข้อมูล ดังนี้

- 3.1 ตัวอย่างวัตถุดิบทดลอง
- 3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัด
- 3.3 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวอย่างวัตถุดิบทดลอง

ในการศึกษานี้ใช้พริกชี้ฟ้าจากสวนของเกษตรกร อายุ 70–95 วันขึ้นไป นับจากวันที่ปลูก เลือกใช้พริกที่มีลักษณะสุกงอม และมีผิวสีแดงสดเท่านั้น ดังรูปที่ 3.1 เนื่องจากการอบแห้งพริกที่ไม่สุกหรือผิวมีสีเขียว พริกแห้งที่ได้จะมีลักษณะผิวเป็นสีดำไม่ตรงตามความต้องการของตลาด



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างพริกที่ใช้ในการศึกษา

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

อุปกรณ์ เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา ดังรูปที่ 3.2 ถึง 3.9

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ศึกษา

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	ยี่ห้อ/รุ่น	พารามิเตอร์
1	เครื่องวัดความชื้น		ตรวจวัดความชื้นในวัสดุดิบ
2	เครื่องวัดอุณหภูมิ		ตรวจวัดอุณหภูมิ
3	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล		น้ำหนัก
4	นาฬิกาจับเวลา		เวลา
5	เครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์		พลังงานไฟฟ้า
6	เครื่องวัดแสง		วัดแสงสว่าง
7	เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบบันทึกค่าได้		วัดรังสีอาทิตย์
8	กล้องถ่ายภาพ		รูปภาพพริก



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดความชื้น



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.5 แสดงนาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดแสง



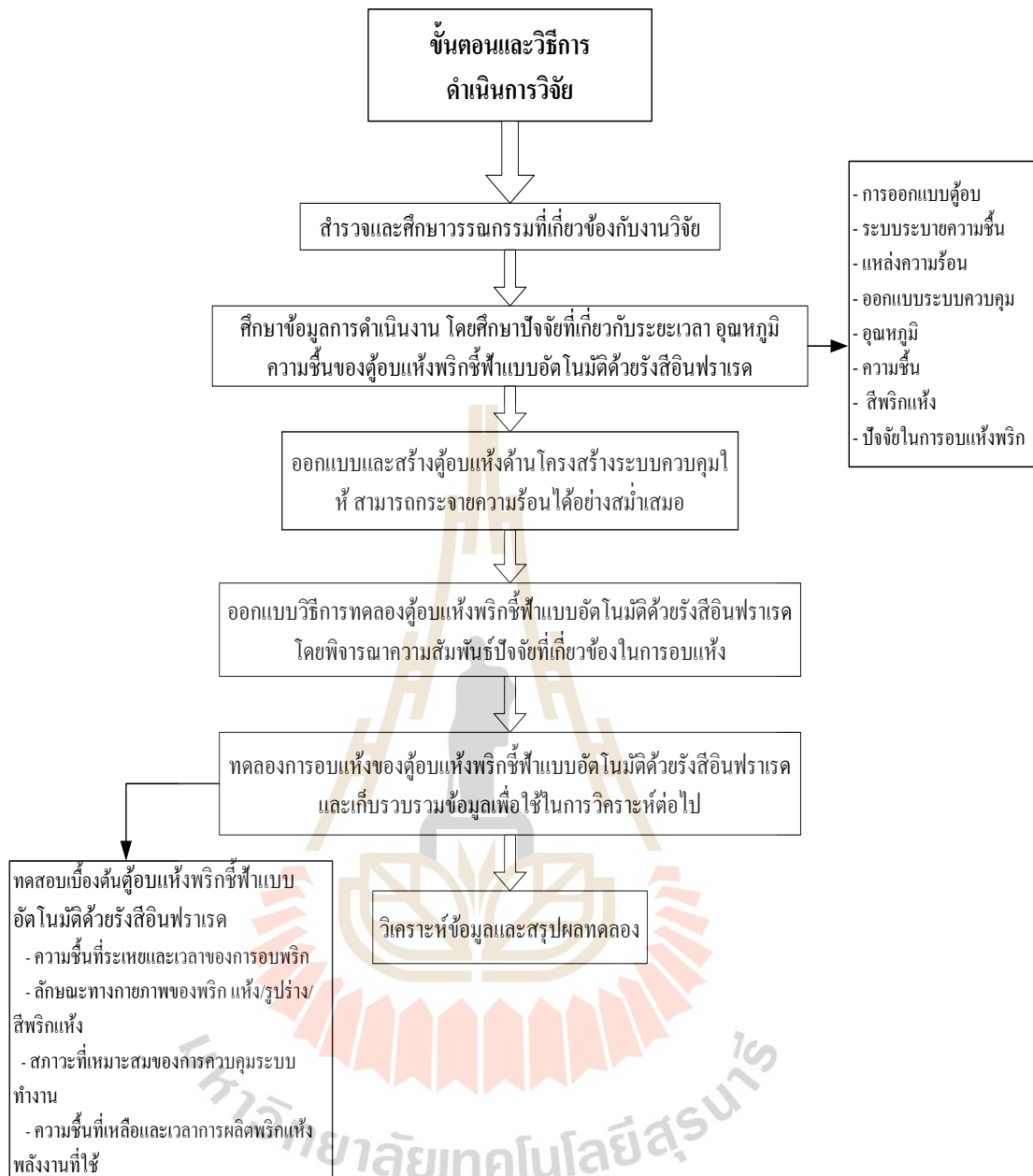
รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบบันทึกค่าได้



รูปที่ 3.9 แสดงกล้องถ่ายภาพ

3.3 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอน และวิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบไปด้วย การสำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ออกแบบ และสร้างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ทดสอบการทำงานเบื้องต้น ทดสอบหาสมรรถนะในการอบแห้งพริกโดยใช้ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด เปรียบเทียบกับการตากแห้งโดยธรรมชาติ ตรวจสอบคุณภาพ และลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด และศึกษาต้นทุน ในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ได้ดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 สำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลการดำเนินงาน โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับระยะเวลา อุณหภูมิ ความชื้นของตู้อบแห้งฟริกซีฟาบออัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ทำการรวบรวมข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อันเกี่ยวข้องกับการศึกษาและออกแบบตู้อบแห้งฟริกซีฟาบออัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตฟริกแห้งซีฟาบอในครั้งนี้ ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของฟริก ประโยชน์ของฟริกซีฟาบอ

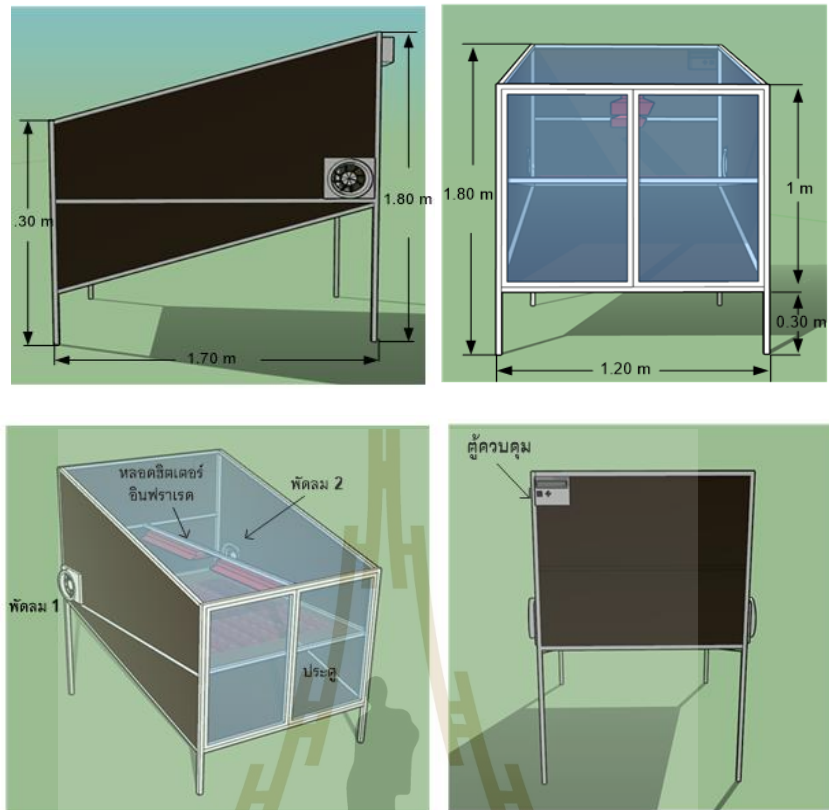
การเก็บรักษาพริกชี้ฟ้า กระบวนการอบพริกแห้ง ที่แสดงให้เห็นลักษณะทั่วไปของวัตถุดิบที่นำไปใช้กับการศึกษาในครั้งนี้ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ทฤษฎีการอบแห้ง หลักการลดความชื้น หลักการของรังสีอินฟราเรด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงไว้ในบทที่ 2

3.3.2 ออกแบบและสร้างตู้อบแห้งด้านโครงสร้าง ระบบควบคุม ให้สามารถกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ

3.3.2.1 ออกแบบและสร้างตู้อบแห้งด้านโครงสร้างของตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

ในงานนี้ทำการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ให้สามารถกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

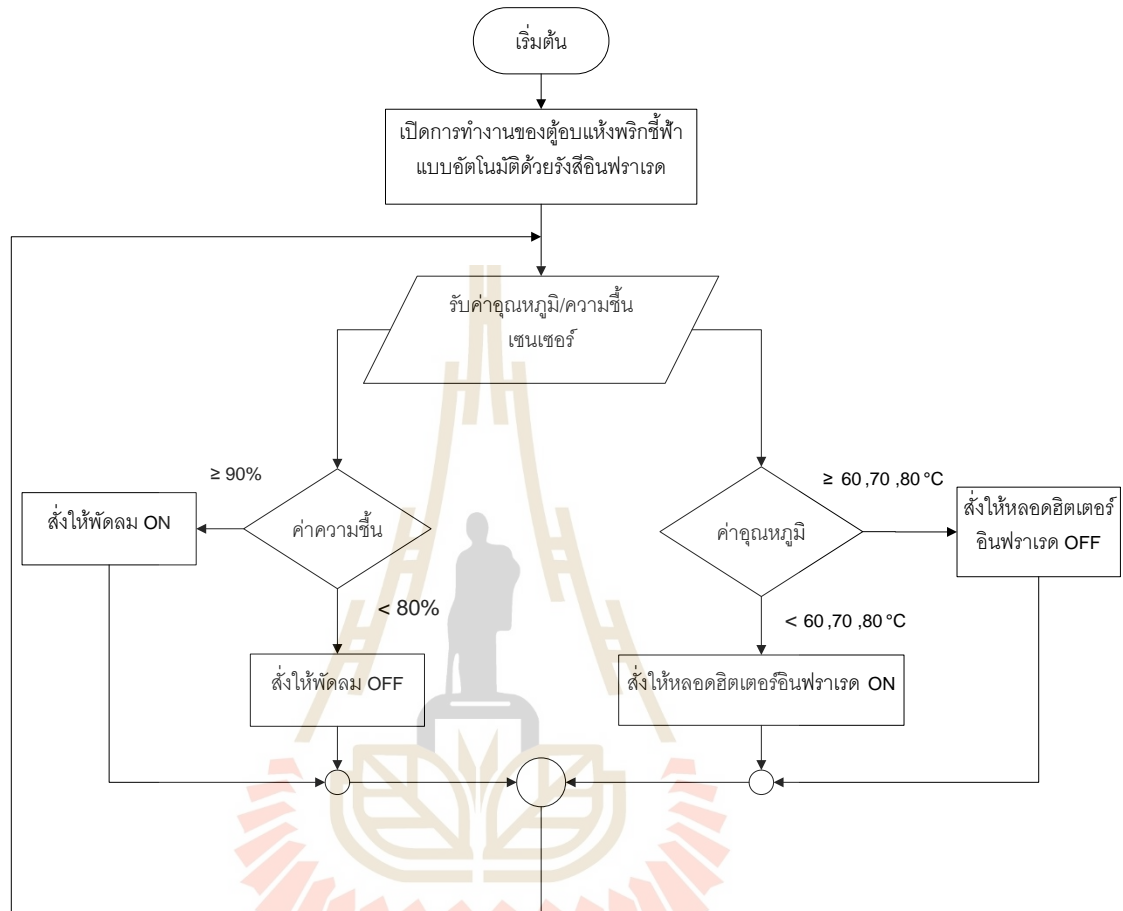
- 1) การออกแบบตู้อบแห้ง ประกอบด้วย ขนาดของตู้อบแห้งที่สามารถอบพริกสดได้ ครั้งละ 10 กิโลกรัม ลักษณะของตู้อบแห้งเพื่ออุณหภูมิภายในตู้สม่ำเสมอ ระบบระบายความชื้น ตำแหน่งช่องระบายอากาศทางเข้า-ออก และวัตถุดิบอื่น ๆ ภายในตู้อบแห้ง ตามรูปที่ 3.11
- 2) การออกแบบแหล่งความร้อน ประกอบด้วย ความร้อนที่ทำให้การอบแห้งพริกมี ลักษณะไม่หดตัว สีพริกแห้งหลังอบสีแดงสดตรงต่อความต้องการของตลาด และอุณหภูมิที่กำหนดใน การอบแห้งอยู่ในช่วง 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส
- 3) การออกแบบระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ด Arduino UNO R3 ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศภายในตู้อบแห้ง การวางระบบควบคุมการทำงานของพัดลมดูดความชื้น และเครื่องกำเนิดความร้อน ตามรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงการออกแบบตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

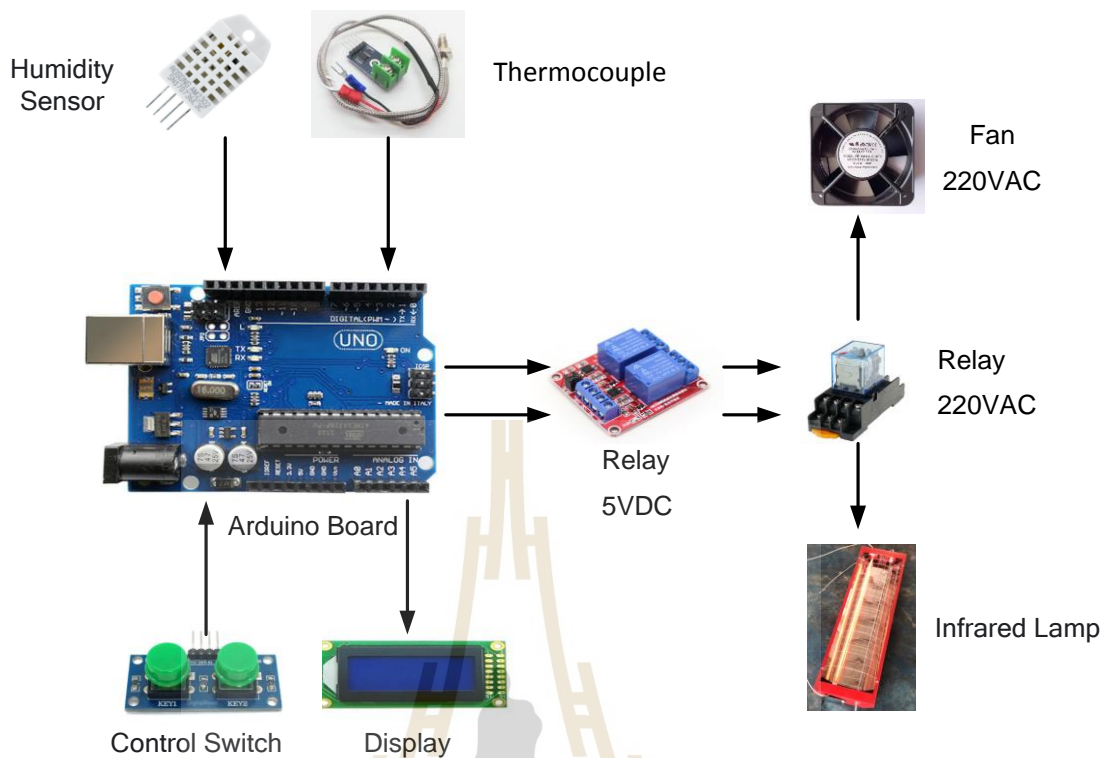
จากรูปที่ 3.11 แสดงการออกแบบตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งการออกแบบตู้อบแห้ง ประกอบด้วยขนาดของตู้อบแห้งที่สามารถอบพริกสดได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ที่ขนาดกว้าง 1.20 เมตร x ยาว 1.70 เมตร x สูง 1.80 เมตร การออกแบบลักษณะของตู้อบแห้งเพื่อพลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัตถุดิบส่งผลให้โมเลกุลของน้ำภายในวัตถุดิบสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในวัตถุดิบสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว โดยแหล่งความร้อนจะได้อมาจากหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรด ขนาด 4000 วัตต์ รวมถึงพัดลมระบายความชื้นออกจากตู้อบแห้ง

3.3.2.2 ออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของตู้อบแห้ง พริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 3.12 แสดงการออกแบบระบบควบคุมตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

จากรูปที่ 3.12 แสดงการออกแบบระบบควบคุมตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอยู่ที่ 60 °C, 70°C และ 80 °C ± 2 °C อุณหภูมิดังกล่าวจะควบคุมการปิด-เปิด หลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ในส่วนของการควบคุมความชื้นอยู่ในช่วง 80-90% ถ้าความชื้นในอากาศภายในตู้อบเกิน 90% พัดลม จะทำงานโดยดูดอากาศภายในออกภายนอก ถ้าความชื้นภายในตู้อบแห้งต่ำกว่า 80% พัดลมจะดูดอากาศแล้วหยุดทำงาน



รูปที่ 3.13 แสดงระบบควบคุมตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

จากรูปที่ 3.13 แสดงระบบควบคุมตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีหลักการการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้า แบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้บอร์ด Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมการทำงานของระบบโดยจะมีสัญญาณนำเข้า (Input) 3 ส่วน ได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความชื้น และปุ่มปรับ ค่าอุณหภูมิและความชื้น สัญญาณนำออก (Output) 2 ส่วน ได้แก่ จอแสดงผล และรีเลย์สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดหลอดอินฟราเรดในการให้ความร้อน และควบคุมพัดลมที่ใช้ในการดูดความชื้นออกจากตู้อบแห้ง

3.3.3 ออกแบบวิธีการทดลองตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด โดยพิจารณาความสัมพันธ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการอบแห้ง

ในงานนี้ทำการออกแบบวิธีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบลักษณะ ระยะเวลา และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการอบแห้ง ระหว่างการใช้ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด และการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ ดังนี้

ทดลองตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ

ใช้วัตถุดิบพริกชี้ฟ้าสดปริมาณ 10 กิโลกรัม ในการทดลองตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ โดยนำกลุ่มตัวอย่างของพริกชี้ฟ้าปริมาณ 100 กรัม ในการเก็บผลการทดลองการลด

ความชื้นในตะแกรงสแตนเลสตากด้วยวิธีแสงแดดธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 3.14 เพื่อนำออกมาชั่ง
ทุก ๆ 1 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3.15 จนความชื้นคงเหลือภายในวัดฤดูบต่ำกว่า 13 % (มาตรฐานแห้ง)
เริ่มต้นการทดลอง ตั้งแต่ 09.00 -17.00 น. และวัดความชื้นของแสงแดดในระหว่างวัน เพื่อบันทึก
ข้อมูลและค่าความชื้นที่ระเหยออกจากพริกเทียบกับเวลาที่ใช้ไป แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.14 แสดงวิธีการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติและตัวอย่างในการเก็บผลการทดลอง



รูปที่ 3.15 แสดงการเก็บข้อมูลของน้ำหนักในพริกด้วยการตากแดดธรรมชาติ



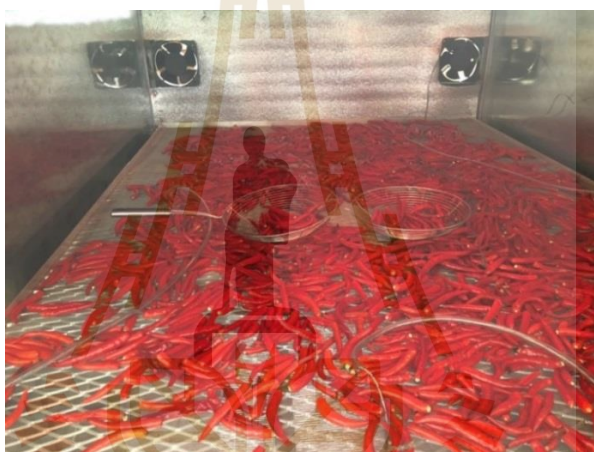
รูปที่ 3.16 บันทึกค่าความชื้นของแสงแดดระหว่างวันในการทดลอง



รูปที่ 3.17 แสดงการเก็บรักษาพริกกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ทดลองการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

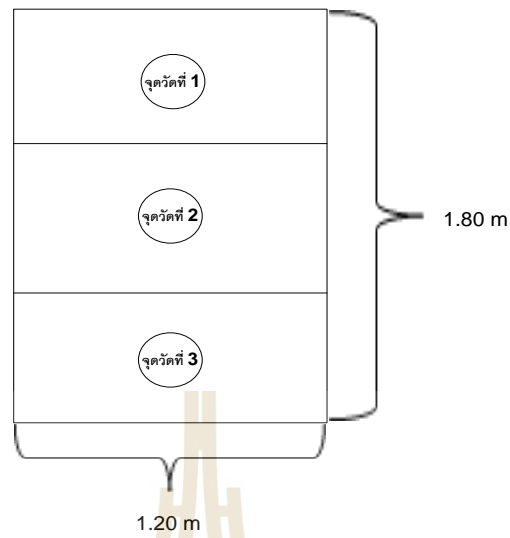
ใช้วัตถุดิบพริกชี้ฟ้าสดปริมาณ 10 กิโลกรัม วางใส่ในถาดเท่า ๆ กันทดลองโดยการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด โดยจะนำพริกเข้าตู้อบเมื่ออุณหภูมิภายในตู้ อยู่ในช่วง 60 °C, 70°C และ 80 °C โดยนำกลุ่มตัวอย่างของพริกชี้ฟ้าปริมาณ 100 กรัม ในการเก็บผลการทดลองการลดความชื้นในตะแกรงสแตนเลส แสดงตามรูปที่ 3.18 เพื่อนำออกมาชั่ง ทุก ๆ 30 นาที แสดงตามรูปที่ 3.19 จนความชื้นคงเหลือภายในวัตถุดิบต่ำกว่า 13 % (มาตรฐานแห้ง) และวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง แสดงตามรูปที่ 3.20 และ 3.21 เพื่อบันทึกข้อมูลและค่าความชื้นที่ระเหยออกจากพริกเทียบกับเวลาที่ใช้ไป และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละครั้ง แสดงตามรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.18 แสดงวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบและตัวอย่างในการเก็บผลการทดลอง



รูปที่ 3.19 แสดงการเก็บข้อมูลน้ำหนักในพริกด้วยการอบด้วยตู้



รูปที่ 3.20 แสดงจุดวัดอุณหภูมิภายในตู้อบ



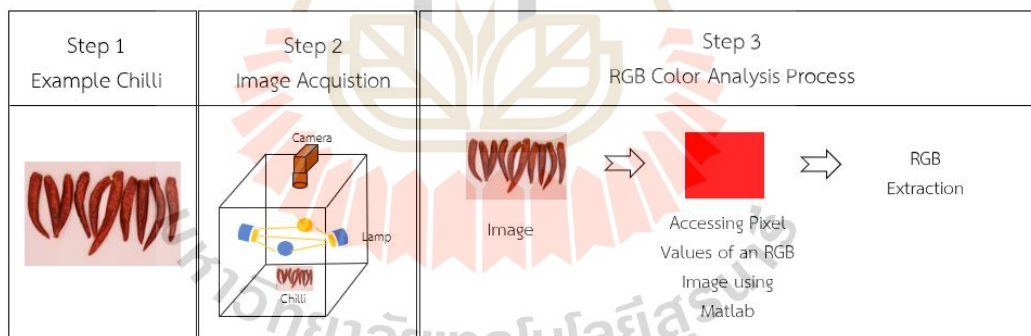
รูปที่ 3.21 แสดงการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ



รูปที่ 3.22 แสดงการเก็บบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ของตู้อบ

3.3.4 การวิเคราะห์ค่าสี RGB

การวิเคราะห์ค่าสี RGB โดยเปรียบเทียบลักษณะ รูปร่าง สีเส้นของพริกที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งจาก 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดและวิธีการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติ

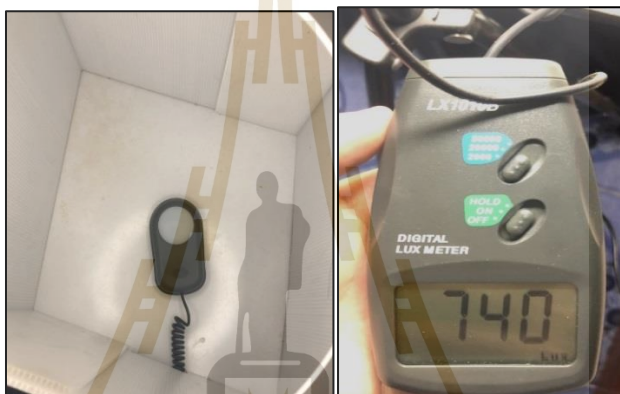


รูปที่ 3.23 แสดงกระบวนการวิเคราะห์ค่าสี RGB

จากรูปที่ 3.22 กระบวนการวิเคราะห์ค่าสี RGB มีกระบวนการประมวลผลจากภาพถ่ายของพริกสำหรับวิเคราะห์แยกสี RGB เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าสีของพริกที่ผ่านการตากแดดธรรมชาติและการอบด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ลักษณะทางกายภาพด้านสีควบคู่กับพฤติกรรมทำให้พริกแห้งที่เกิดขึ้น โดยการใช้การวิเคราะห์โปรแกรม MATLAB ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำเอาตัวอย่างพริกแห้งที่ผ่านการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติ พริกแห้งที่ผ่านการอบด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดด้วยอุณหภูมิ 60 °C, 70°C และ 80 °C และพริกแห้งคุณภาพดีจากท้องตลาด เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสี RGB

2) ภาพถ่ายของพริกแห้งก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าสี RGB ผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์และการตั้งค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Canon EOS 90D Lens Canon EF-S 18-55 MM F/3.5-5.6 IS ตั้งค่าขนาดของภาพที่ 6960 × 4640 พิกเซล, f/4.5 , ISO-100, ระยะโฟกัสเลนส์ 35 mm, หน้าเลนส์กับตัวอย่างพริกแห้งมีระยะห่างที่ 15 เซนติเมตร และได้กำหนดค่าความเข้มของแสงโดยใช้เครื่องวัด Lux Meter อยู่ที่ 740 ลูเมนต่อตารางเมตร (Lux) ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.24 วัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัด Lux Meter

3) นำรูปภาพมาวิเคราะห์หาค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.25

```

Editor - D:\SUN\3\MATLAB\Test Matlab\Colm
A01.m Colm
1- clc; clear all;
2
3 %Accessing Pixel Values of an RGB Image
4 color_image = imread('C:\Users\ACER\OneDrive\Desktop\60.JPG');
5
6 red_value = color_image(50,70,1);
7 green_value = color_image(50,70,2);
8 blue_value = color_image(50,70,3);
9
10 sprintf('Value of the red, green and blue pixel is %d, %d, %d', red_value, green_value, blue_value)
11
Command Window
ans =
'Value of the red, green and blue pixel is 213, 187, 186'
fx>>

```

รูปที่ 3.25 แสดงการวิเคราะห์หาค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม MATLAB

3.3.5 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ดังสมการที่ 13

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (2.13)$$

เมื่อ \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ย
 x คือ จำนวนข้อมูลแต่ละชุด
 n คือ จำนวนข้อมูล

2) สูตรคำนวณความชื้นวัตถุเปียก

ปริมาณความชื้นของวัตถุเปียกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียก จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัตถุเปียก จะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2.14

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \quad (2.14)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัตถุเปียก จะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2.15

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} \quad (2.15)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.) อัตราส่วน
 M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.) อัตราส่วน
 W_w คือ มวลของความชื้น
 W_d คือ มวลแห้งของวัตถุเปียก

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

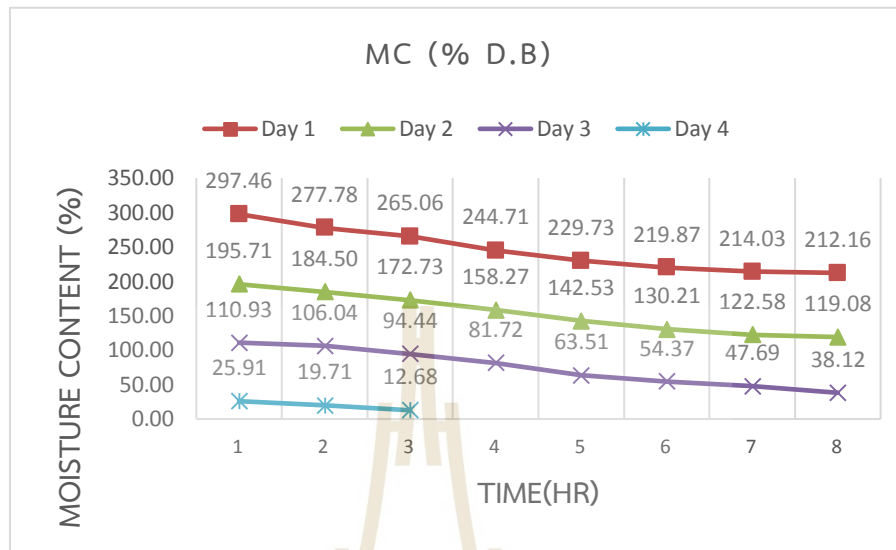
ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของการทดลองหาประสิทธิภาพของตูบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด เพื่อหาอัตราการอบแห้งและความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่เหลือหลังจากการอบแห้ง และประเมินค่าสีของพริกชี้ฟ้าแห้ง จากผลการทดลองการทำให้แห้งโดยวิธีการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติกับใช้ตูบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด มีรายละเอียดดังนี้

- 4.1 ผลทดลองการตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ
- 4.2 ผลทดลองการอบพริกชี้ฟ้าด้วยตูบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด
- 4.3 ผลการวิเคราะห์ประเมินค่าสีของพริกชี้ฟ้าแห้งที่ผ่านการตากด้วยแสงแดดธรรมชาติและการอบแห้งจากตูบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

4.1 ผลการทดลองการตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ

จากผลการทดลองการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ ใช้เวลาในการตากแห้งพริกชี้ฟ้าสดจนความชื้นคงเหลือภายในพริกต่ำกว่า 13 % มาตรฐานแห้ง MC (% d.b) โดยในแต่ละวันเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 09.00 น. – 17.00 น. ในระหว่างทำการทดลองได้นำพริกชี้ฟ้ามาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อหาค่าน้ำหนักของความชื้นที่อยู่ในพริกชี้ฟ้าที่ระเหยออกไปในแต่ละช่วงเวลา แล้วนำพริกชี้ฟ้าหลังตากแดดธรรมชาติมาอบให้แห้งสนิท เพื่อหาค่าน้ำหนักของพริกแห้ง (W_d) เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้วก็นำค่าที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (MC %) ของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นนั้นไปเขียนกราฟ เพื่อแสดงค่าความชื้นที่ลดลงของพริกชี้ฟ้าเปรียบเทียบกับเวลา ได้ดังต่อไปนี้

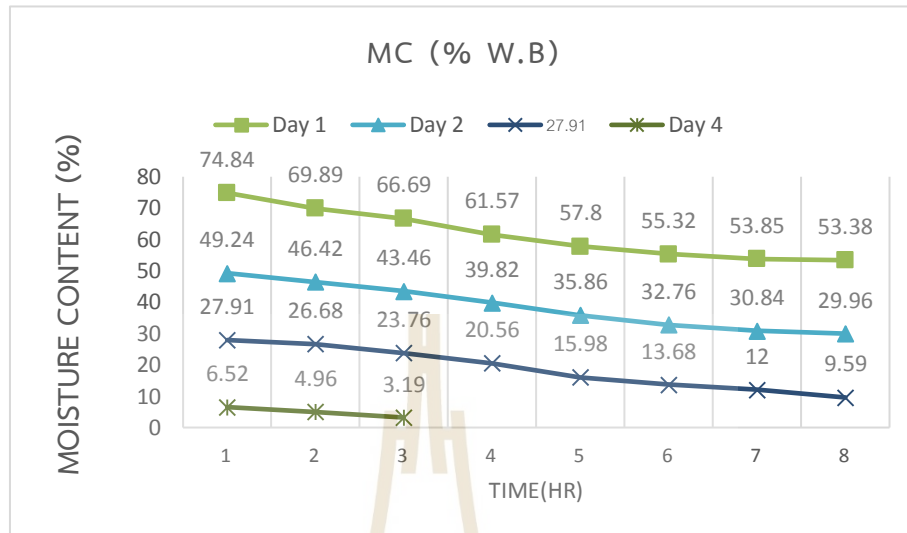
4.1.1 ความชื้นที่ระเหยออกจากพริกชี้ฟ้า (มาตรฐานแห้ง)



รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงโดยการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ (MC (%d.b))

จากรูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่ลดลง โดยการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ (MC (%d.b)) พบว่า ใช้การตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ จากความชื้นของพริก 297.46% (MC (% d.b)) ลดเหลือ 12.68% (MC (% d.b.)) ใช้เวลาในการตากแห้ง 3 วัน 3 ชั่วโมง รวมเวลา 27 ชั่วโมง

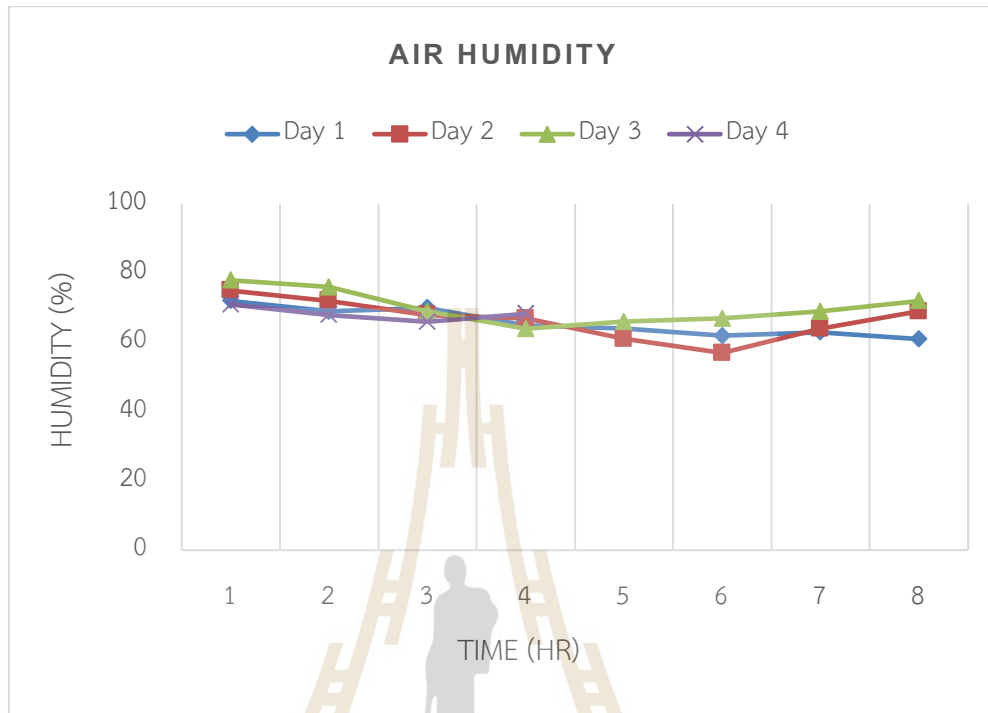
4.1.2 ความชื้นที่ระเหยออกจากพริกชี้ฟ้า (มาตรฐานเปียก)



รูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงโดยการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ (MC (% w.b))

จากรูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงโดยการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ (MC (% w.b)) พบว่า ใช้การตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ จากความชื้นของพริก 74.84% (MC (% w.b)) ลดเหลือ 3.19% (MC (% w.b)) ใช้เวลาในการตากแห้ง 3 วัน 3 ชั่วโมง รวมเวลา 27 ชั่วโมง

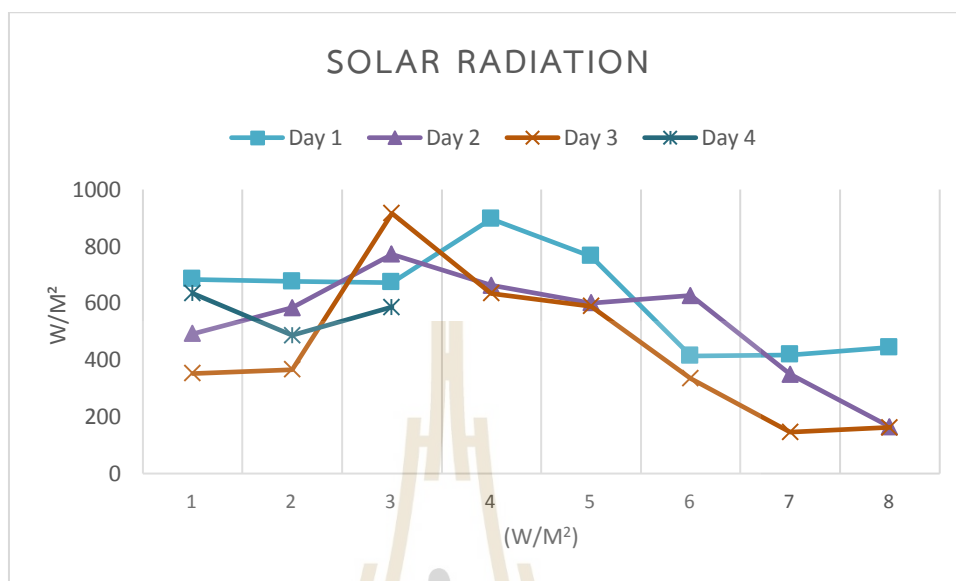
4.1.3 ความชื้นในอากาศขณะตากพริกแห้งชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ



รูปที่ 4.3 แสดงความชื้นในอากาศขณะตากพริกชี้ฟ้าโดยการตากแดดธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.3 แสดงความชื้นในอากาศขณะตากพริกชี้ฟ้าโดยการตากแดดธรรมชาติ พบว่าความชื้นในอากาศระหว่างการตากพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ ความชื้นในอากาศเฉลี่ย 8 ชั่วโมงของการตากแห้งวันที่ 1 อยู่ที่ 65.75% ความชื้นในอากาศของการตากแห้งวันที่ 2 อยู่ที่ 66.63% ความชื้นในอากาศของการตากแห้งวันที่ 3 อยู่ที่ 70.13% และวันที่ 4 ใช้เวลาในการตากแห้ง 3 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 68.33% จากความชื้นในภาพรวมของทดลองการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 67.71%

4.1.4 ความเข้มของรังสีอาทิตย์ขณะตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ



รูปที่ 4.4 แสดงการทดลองความเข้มของรังสีอาทิตย์ (W/m²)

จากรูปที่ 4.4 แสดงการทดลองความเข้มของรังสีอาทิตย์ (W/m²) พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มของรังสีอาทิตย์ในการตากพริกแต่ละชั่วโมงจะมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาและสภาพอากาศของวัน จากกราฟจะสังเกตได้ว่าระหว่างวันที่ทำการทดลองตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ ความเข้มของรังสีอาทิตย์จะมีในช่วงเวลา 12.00 -14.00 น. มีความเข้มอยู่ที่ 800-900 วัตต์ต่อตารางเมตร

4.2 ผลการทดลองการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

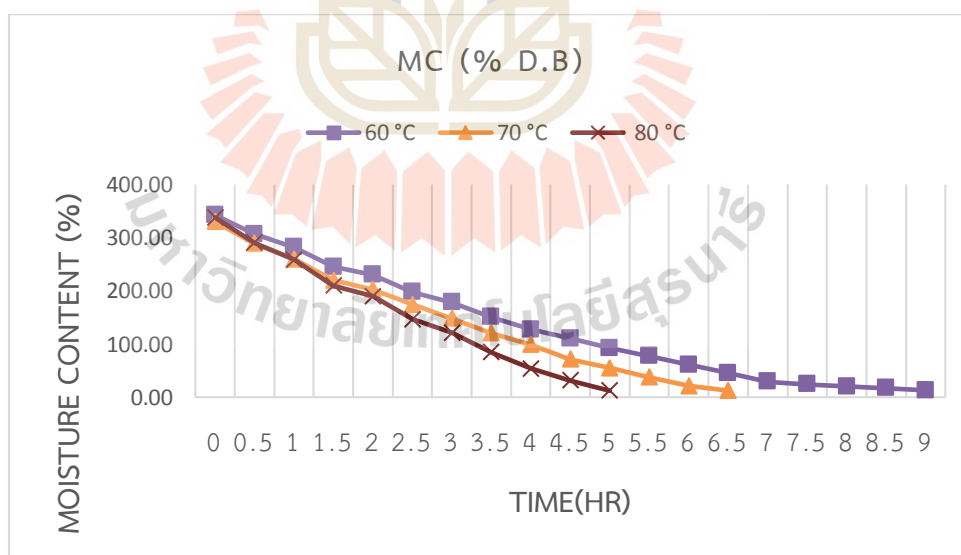
จากผลการทดลองการอบพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 °C อุณหภูมิที่ 70 °C และอุณหภูมิ 80 °C ซึ่งแต่ละอุณหภูมิจะ ±2 °C ใช้เวลาในการอบพริกชี้ฟ้าสดจนความชื้นคงเหลือภายในพริกต่ำกว่า 13 % มาตรฐานแห้ง MC (% d.b)) ในระหว่างทำการทดลองได้นำพริกชี้ฟ้ามาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 นาที เพื่อหาค่าน้ำหนักของความชื้นที่อยู่ในพริกชี้ฟ้าที่ระเหยออกไปในแต่ละช่วงเวลา แล้วนำพริกชี้ฟ้าหลังจากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดมาอบให้แห้งสนิท เพื่อหาค่าน้ำหนักของพริกแห้ง (W_d) เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้วก็นำค่าที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (MC %) ของพริกชี้ฟ้าที่ลดลงในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นนั้นไปเขียนกราฟ เพื่อแสดงค่าความชื้นที่ลดลงของพริกชี้ฟ้าเปรียบเทียบกับเวลาและค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบพริกแห้งแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

จุดวัด	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	60	70	80
1	59.33	70.21	79.64
2	60.93	70.08	79.27
3	60.93	70.25	80.36
เฉลี่ย	60.39	70.18	79.75

จากตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบพริกแห้งแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 °C เฉลี่ยค่าอุณหภูมิจากจุดวัดที่ 1 อยู่ที่ 59.33 °C จุดวัด ที่ 2 อยู่ที่ 60.93 °C และจุดวัดที่ 3 อยู่ที่ 60.93 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในช่วงการอบแห้งอยู่ที่ 60.39 °C อุณหภูมิ 70 °C เฉลี่ยค่าอุณหภูมิในการอบแห้งจากจุดวัดที่ 1 อยู่ที่ 70.21 °C จุดวัดที่ 2 อยู่ที่ 70.28 °C และจุดวัดที่ 3 อยู่ที่ 70.25 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในช่วงการอบแห้งอยู่ที่ 70.18 °C อุณหภูมิ 80 °C เฉลี่ยค่าอุณหภูมิในการอบแห้งจากจุดวัดที่ 1 อยู่ที่ 79.64 °C จุดวัดที่ 2 อยู่ที่ 79.27 °C และจุดวัดที่ 3 อยู่ที่ 80.36 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในช่วงการอบแห้งอยู่ที่ 79.75 °C

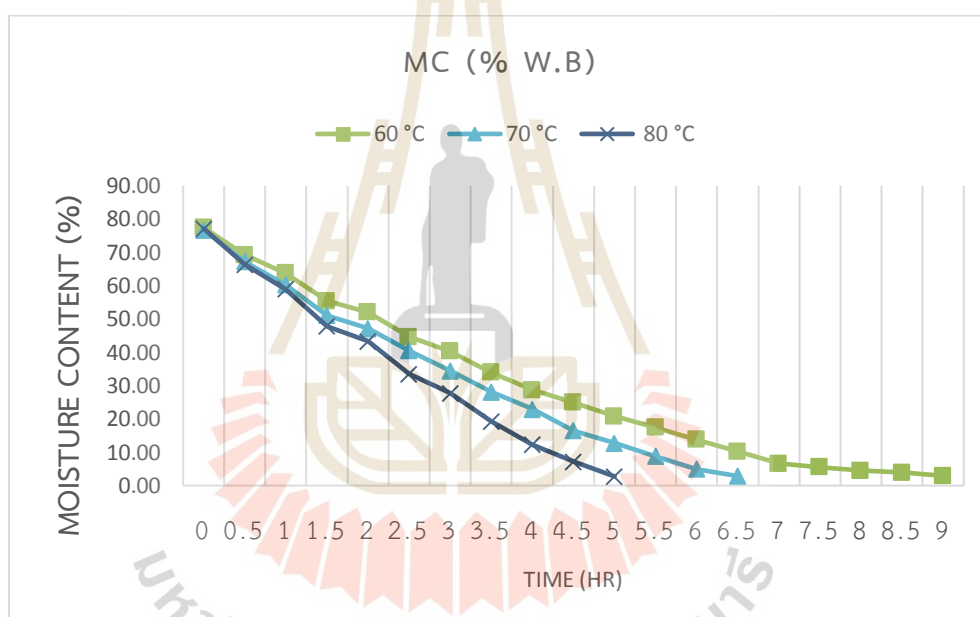
4.2.1 ความชื้นที่ระเหยออกจากพริกชี้ฟ้า (มาตรฐานแห้ง)



รูปที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นของพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C (MC (% d.b))

จากรูปที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นของพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C (MC (% d.b)) พบว่า ในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นภายในพริกลดลงจาก 342.48% (MC (% d.b)) เหลือความชื้น 12.96% (MC (% d.b)) และใช้เวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง ในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 70°C ลดความชื้นภายในพริกจากความชื้นของพริก 329.92% (MC (% d.b)) เหลือความชื้น 12.30% (MC (% d.b)) ใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง 30 นาที ในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 80°C ลดความชื้นภายในพริกจากความชื้นของพริก 338.02% (MC (% d.b)) เหลือความชื้น 12.08% (MC (% d.b)) ใช้เวลาในการอบแห้ง 5 ชั่วโมง

4.2.2 ความชื้นที่ระเหยออกจากพริกชี้ฟ้า (มาตรฐานเปียก)

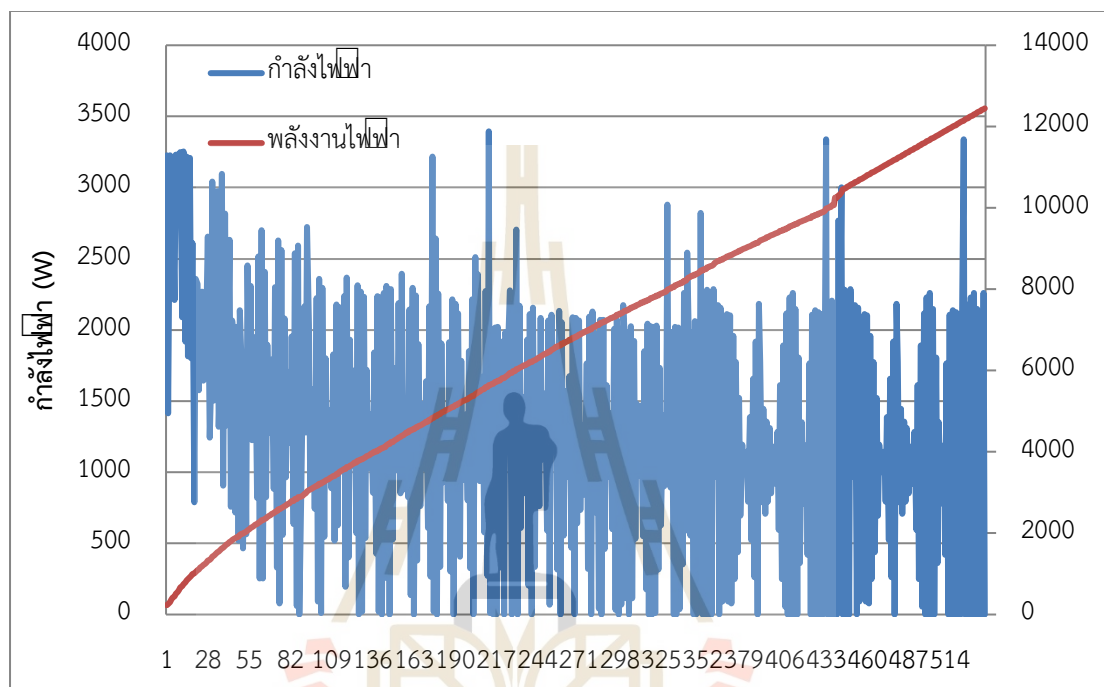


รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นของพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C (MC (% w.b))

จากรูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นของพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C และ 80°C (MC (% w.b)) พบว่า ในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 60°C ลดความชื้นภายในพริกจากความชื้นของพริก 77.40% (MC (% w.b)) เหลือความชื้น 11.48% (MC (% w.b)) ใช้เวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง การอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 70°C ลดความชื้นภายในพริกจากความชื้นของพริก 76.74% (MC (% w.b)) เหลือความชื้น 10.95% (MC (% w.b)) ใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง 30 นาที

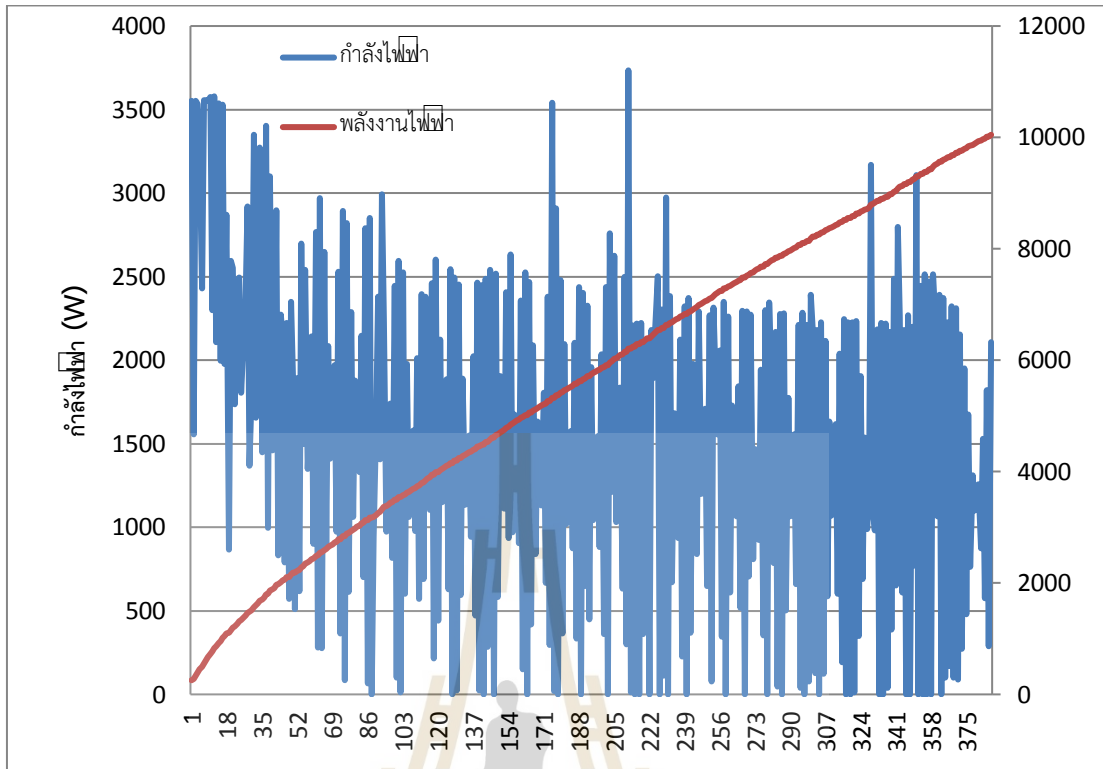
การอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 80°C ลดความชื้นภายในพริกจาก 77.17% (MC (% w.b)) เหลือความชื้น 10.78% (MC (% w.b)) ใช้เวลาในการอบแห้ง 5 ชั่วโมง

4.2.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด



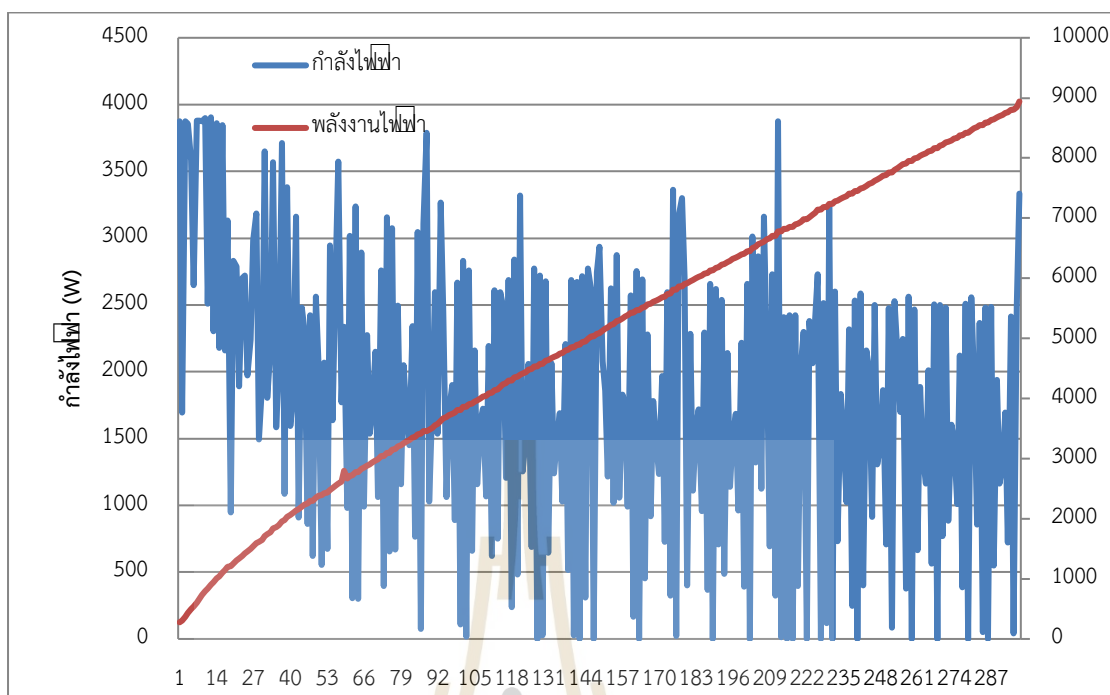
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 60 °C

จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 60 °C พบว่า การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ 60 °C ใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดการอบแห้งอยู่ที่ 9 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้า 12.22 kWh (หน่วย) คิดเป็นจำนวนเงิน 39.59 บาท/ครั้ง (อัตราค่าไฟฟ้า 3.2405 บาทต่อหน่วย) [40]



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 70 °C

จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 70 °C พบว่าการอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ 70 °C ใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดการอบแห้งอยู่ที่ 6 ชั่วโมง 30 นาที ใช้ไฟฟ้า 9.79 kWh (หน่วย) คิดเป็นจำนวนเงิน 31.72 บาท/ครั้ง (อัตราค่าไฟฟ้า 3.2405 บาทต่อหน่วย) [40]



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 80 °C

จากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าที่ 80 °C พบว่าการอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ 80 °C ใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดการอบแห้งอยู่ที่ 5 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้า 8.66 kWh (หน่วย) คิดเป็นจำนวนเงิน 28.06 บาท/ครั้ง (อัตราค่าไฟฟ้า 3.2405 บาทต่อหน่วย) [40]

4.3 ผลการวิเคราะห์ประเมินค่าสีของพริกชี้ฟ้าแห้งที่ผ่านการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติและการอบแห้งจากตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

4.3.1 ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งชี้ฟ้าในท้องตลาด

กระบวนการหาค่าสี RGB จากรูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายพริกแห้งชี้ฟ้าจากท้องตลาดพบว่า เพื่อนำค่าสีมาเปรียบเทียบกับพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกของตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายพริกชี้ฟ้าแห้งจากท้องตลาด

4.3.2 ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งที่ผ่านการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติและการอบแห้งจากตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของพริกชี้ฟ้า ดังนั้นการใช้ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด จะทำให้รูปร่างและสีของพริกตรงตามความต้องการของตลาด ผลการทดลองปรากฏดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะพริกที่อบด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดกับวิธีตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ

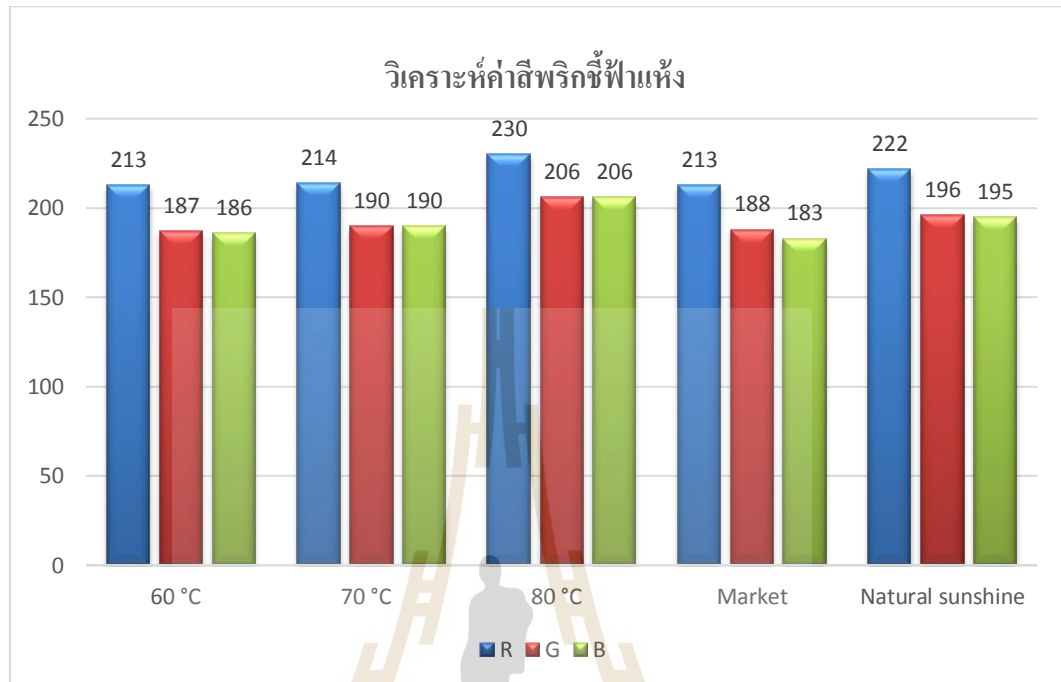
จากรูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะพริกที่อบด้วยตู้อบกับวิธีตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติพบว่า การตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติพริกจะมีลักษณะสีซีด ผิวเหี่ยวย่น และมีกลิ่นเหม็นสาบ ดังรูปภาพที่ 4.11 (d) ส่วนพริกที่ผ่านการอบแห้งจากตู้อบแห้งพริกซีฟฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60°C, 70 °C และ 80°C พบว่า อุณหภูมิ 60 °C ผิวภายนอกของพริกไม่เหี่ยวย่นจนเกินไป และยังคงรักษาสีสดของพริกไว้ได้ ดังรูปภาพที่ 4.11 (a) 60 °C อุณหภูมิ 70 °C พริกที่ได้หลังการอบแห้งจะมีสีคล้ำเพิ่มมากขึ้น ดังรูปภาพที่ 4.11 (b) 70 °C และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C พริกที่ได้หลังการอบแห้งจะมีผิวสีคล้ำเข้ม มีรอยไหม้จากแสงอินฟราเรดที่มีความร้อนสูงจึงไม่เหมาะแก่การอบแห้งพริก ดังรูปภาพที่ 4.11 (c) แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้ช่วยลดระยะเวลาในการทำให้แห้ง และลดการหดตัวของพริกได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีพริกซีฟฟ้าแห้ง

ค่าสีพริกซีฟฟ้าแห้ง			
พริกแห้ง	ค่าสี		
	R	G	B
อบด้วยตู้อบที่ 60 °C	213	187	186
อบด้วยตู้อบที่ 70 °C	214	190	190
อบด้วยตู้อบที่ 80 °C	230	206	206
ด้วยแสงแดดธรรมชาติ	222	196	195
พริกแห้งจากท้องตลาด	213	188	183

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีพริกซีฟฟ้า พบว่า การวิเคราะห์การประเมินค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) พบว่าพริกที่ผ่านการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ มีค่าสีเท่ากับ 222, 196 และ 195 ตามลำดับ พริกซีฟฟ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกซีฟฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C มีค่าสีเท่ากับ 213, 187 และ 186 ที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าสีเท่ากับ 214, 190 และ 190 ที่อุณหภูมิ 80°C มีค่าสีเท่ากับ 230, 206 และ 206 ตามลำดับ และพริกซีฟฟ้าแห้งตามท้องตลาด มีค่าสีเท่ากับ 213, 188 และ 183 ตามลำดับ

4.3.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสีพริกชี้ฟ้าแห้ง



รูปที่ 4.12 แสดงค่าสีพริกชี้ฟ้าแห้ง RGB

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าสีพริกชี้ฟ้าแห้ง RGB จากผลการวิเคราะห์การประเมินค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) พบว่า พริกชี้ฟ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งที่สุด มีค่าสีเท่ากับ 213, 187 และ 186 และมีค่าสีใกล้เคียงกับพริกชี้ฟ้าแห้งในท้องตลาด ซึ่งมีค่าสีเท่ากับ 213, 188 และ 183 ตามลำดับ

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา กระบวนการอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยรังสีอินฟราเรด และหาค่าอุณหภูมิ ความชื้นที่เหมาะสมต่อการอบแห้งพริกชี้ฟ้า เพื่อออกแบบและสร้างตู้ให้สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นภายในตู้ได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อได้พริกชี้ฟ้าแห้งที่มีความชื้นและสีของพริกตามความต้องการของท้องตลาด ผลที่ได้จากการวิจัยมีดังต่อไปนี้

5.1.1 ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดที่ผู้วิจัยการออกแบบและสร้าง ขึ้น มีขนาดกว้าง 1.20 เมตร x ยาว 1.70 เมตร x สูง 1.80 เมตร สามารถอบพริกสดได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ภายในตู้อบแห้งมีหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดเพื่อให้ความร้อนที่ขนาด 4000 วัตต์ พัดลมดูด ความชื้นออกจากตู้อบแห้งที่ขนาด 6 x 6 นิ้ว จำนวน 2 ตัว เพื่อควบคุมและรักษาความชื้นภายในตู้อบ แห้ง ในการทดสอบการอบแห้งใช้ความร้อนภายในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C, 70 °C และ 80 °C ซึ่งความ ร้อนจะกระจายไปยังพริกส่งผลให้โมเลกุลของน้ำภายในพริกสั่นสะเทือนและระเหยความชื้นออกจาก พริก ตู้อบแห้งสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

5.1.2 ความชื้นคงเหลือภายในพริกแห้งจะมีค่าความชื้นต่ำกว่า 13 % (มาตรฐานแห้ง) ที่ สามารถเก็บรักษาพริกแห้งได้เป็นเวลานานไม่ก่อให้เกิดเชื้อราและเป็นมาตรฐานความชื้นที่ตลาดรับซื้อ การทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งอยู่ที่ 60 °C เมื่อพิจารณาค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) ของพริกที่อบด้วยตู้อบกับค่าสีของพริกแห้งตามท้องตลาด พบว่ามีค่าสีแดงที่เท่ากัน ส่วนสี เขียว และสีน้ำเงินต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ สีแดง (213,213), สีเขียว (187,188) และ สีแดง (186,183) ตามลำดับ ซึ่งการอบแห้งในระดับอุณหภูมินี้สามารถรักษาสีสดของพริกชี้ฟ้าได้ดี

เปรียบเทียบค่าความชื้นและการหดตัวของพริกกระหว่างตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบ อัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดและการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ พบว่า ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบ อัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นภายในพริกจากน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม ลดลงเหลือ 25.53 กรัม มีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกจาก 77.40% คงเหลือ 11.48% หรือค่าความชื้นมาตรฐาน แห้งจาก 342.48% คงเหลือ 12.96% ใช้เวลารวม 9 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้า 12.22 kWh (หน่วย) คิดเป็น จำนวนเงิน 39.59 บาท/ครั้ง (อัตราค่าไฟฟ้า 3.2405 บาทต่อหน่วย) พริกที่ผ่านการอบแห้งจะมี ลักษณะภายนอกที่ไม่เหี่ยวยุบจนเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับพริกชี้ฟ้าแห้งในท้องตลาด ส่วนการตาก แห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ สามารถลดความชื้นภายในพริกจากน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม ลดลงเหลือ

28.16 กรัม จากความชื้นตามมาตรฐานเปียก 74.84% คงเหลือ 11.25% หรือความชื้นตามมาตรฐานแห้งจาก 297.46% คงเหลือ 12.68% ใช้เวลา 3 วัน 3 ชั่วโมง (รวม 27 ชั่วโมง) ซึ่งพริกจะมีลักษณะสีซีด ผิวเหี่ยวย่น และมีกลิ่นเหม็นสาบ จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นและลดการหดตัวของพริกได้ดีกว่าการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ และพริกมีลักษณะทางกายภาพตรงตามความต้องการของตลาดมากกว่า

การอบด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ที่สภาวะควบคุมอุณหภูมิในตู้อบอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นในตู้อบอยู่ในช่วง 80-90 เปอร์เซ็นต์ สามารถอบพริกสด 10 กิโลกรัม/ครั้ง จะเหลือพริกแห้ง 2.81 กิโลกรัม (ใช้เวลา 9 ชั่วโมง/ครั้ง) ใช้ไฟฟ้า 12.22 kWh (หน่วย) คิดเป็นจำนวนเงิน 39.59 บาท/ครั้ง (อัตราค่าไฟฟ้า 3.2405 บาทต่อหน่วย) อัตราการจำหน่ายราคาพริกชี้ฟ้าแห้งจะมีราคาสูงกว่าพริกชี้ฟ้าสดถึง 6 เท่า จากการคำนวณต้นทุนเทียบกับราคาขายพริกแห้งต่อการอบแห้ง/ครั้ง จะได้กำไรร้อยละ 17.20 บาท/ครั้ง

สรุปผลจากการวิจัยการใช้ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้งที่ดีกว่าส่งผลให้ประหยัดเวลาในการอบแห้ง และลักษณะของพริกแห้งที่ได้ยังมีสีสด ผิวไม่เหี่ยวย่นจนเกินไป ไร้กลิ่นเหม็น และตรงตามความต้องการของตลาด ถึงแม้การใช้ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรดจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้ความต้องการของตลาดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ควรกลับด้านของพริกในขณะที่อบทุก ๆ ชั่วโมง เพื่อให้พริกชี้ฟ้าแห้งมีสีที่สม่ำเสมอ
- 2) การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด ควรเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตพริกแห้งในแต่ละครั้ง

รายการอ้างอิง

- [1] ธราวุธ บุญน้อม และคณะ. (2555). การศึกษากระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนระดับต้นแบบ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 24(1). 38-46.
- [2] ผักพื้นบ้านในประเทศไทย กรมส่งเสริมการเกษตร. พริกชี้ฟ้า. เข้าถึงได้จาก ftp://smc.ssk.ac.th/intranet/Research_AntioxidativeThaiVegetable/, 12 กรกฎาคม 2564.
- [3] ส่งเสริมการเกษตร. (2562). สถานการณ์การผลิตพริก. เข้าถึงได้จาก <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/10/%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B8%B8%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%A163.pdf>, 12 กรกฎาคม 2564.
- [4] ตลาดนัดเกษตรโพธิ์ซ. (2564). พริกชี้ฟ้า. เข้าถึงได้จาก <https://www.kasetprice.com/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%B2/%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81/%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B9%89>, 12 กรกฎาคม 2564.
- [5] สุทธิดี และคณะ. (2562). การศึกษาผลของช่องระบายความร้อนขึ้นสำหรับการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานผสมผสาน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 11(1). 158-168.
- [6] พจนา สีมันตร. (2556). การถนอมอาหารและการเก็บรักษา. เข้าถึงได้จาก <http://www.agri.kps.ku.ac.th/News/newsagri/NewsPR/2556-09-24-01999011.pdf>, 12 กรกฎาคม 2564.
- [7] เสริม จันทร์ฉาย. (2560). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- [8] สุรัชย์ ณัฐ จันทรศรี. (2560). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12(1), 1-10.
- [9] สยมพล ศรีหนาและคณะ. (2559). การพัฒนาเตาอบอินฟาเรดสำหรับการอบแห้งข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์. การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์วิชาการครั้งที่ 8. 308-314.

- [10] ซาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. (2555). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 35(2), 269-283.
- [11] Sakai, N. and Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology*, 11(5), 357-362.
- [12] T. Marnoto, E. Sulistyowati, Mahereni and M. Syahri. (2012). The Characteristic of Heat Pump Dehumidifier Drier in Drying of Red Chili (*Capsium annum* L). *International Journal of Science and Engineer*, 3(1), 22-25.
- [13] กลยุทธ์ ดีจริง และเอกสิทธิ์ สุทธะพินทุ. (2562). การอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรังสีอาทิตย์แบบผสม : จลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมรรถนะเครื่องอบแห้งและสมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบ. *วารสารเกษตรพระสุรณ*, 15(1), 216-228.
- [14] JOM. **พริกชี้ฟ้า**. เข้าถึงได้จาก <https://www.thai-thaifood.com/th/%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2/>, 15 กรกฎาคม 2564.
- [15] มาริสา วิชาติ. **การปลูกและการดูแลรักษา**. เข้าถึงได้จาก <https://sites.google.com/site/phrikchifa/my-friend>, 15 กรกฎาคม 2564.
- [16] สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. **การอบแห้ง**. เข้าถึงได้จาก <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/>, 15 กรกฎาคม 2564.
- [17] กระบวนการอบแห้ง. เข้าถึงได้จาก <https://sites.google.com/site/solarcelldryer/thvsdi-thi-keiywkhxng-kab-khorng-ngan?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>, 16 กรกฎาคม 2564.
- [18] เทวรัตน์ ตรีอำนาจ. (2554). **การศึกษาต้นแบบการลดความชื้นกากมันสำปะหลังโดยใช้ระบบอบแห้ง (รายงานวิจัย)**. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [19] ธนรัช มุขพันธ์. (2555). **การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในกระบวนการอบแห้งชีวมวล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [20] สุกัญญา สุปงกช และคณะ. (ม.ป.ป.). **การออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Hybrid**. เข้าถึงได้จาก http://cheqa.rmuti.ac.th/rmuti_1700/2554/5.3.1-09.PDF, 16 กรกฎาคม 2564.
- [21] อรรถพล นุ่มหอม. (ม.ป.ป.). **การเปรียบเทียบวิธีการวัดความชื้นข้าวเปลือกของเตาไมโครเวฟ เตอบและมิเตอร์วัดความชื้นกับวิธีมาตรฐาน**. เข้าถึงได้จาก <https://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC2511005.pdf>, 16 กรกฎาคม 2564.

- [22] ศุภชัย แก้วจั่ง. (2557). **ศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ** (รายงานวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- [23] อัจฉรา แซ่ไคว้และคณะ. (2556). **ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบ การพา และการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 14(3), 166-180.
- [24] วิน ชุนไกรวงษ์. (2559). **การกระจายตัวอุณหภูมิของผนังตู้รับส่งสัญญาณ**. คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.
- [25] สมนึก นิมเรืองและตันติกร จันโท. (2559). **การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น สัมพันธ์ในโรงเรือนเพื่อการปลูกผักสวนครัว**. คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.
- [26] ธนพนธ์ สุพัฒน์กิจกุล. (2558). **อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่ด้วยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์**. การค้นคว้าอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
- [27] นวพร ณะสาร. (2561). **การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบเส้นดำใน การผลิตกุ้งแช่แข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหการและระบบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [28] นายอภิญา คำเหลือ .**หลักการใช้สีและแสงสีในคอมพิวเตอร์**. เข้าถึงได้จาก [https:// sites.google.com/site/computeritschool/chan-mathymsuksa-pi-thi-2/photoshop- cs6/](https://sites.google.com/site/computeritschool/chan-mathymsuksa-pi-thi-2/photoshop- cs6/), 26 มีนาคม 2565.
- [29] พชร ว่องไพศาลกิจและคณะ. (2563). **การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำที่เสริมการ ทำงานด้วยเครื่องอุ่นอากาศเทอร์โมอิเล็กทริก**. วารสารวิชาการและวิจัยมทร.พระนคร. 14(1), 82-96.
- [30] อำไพศักดิ์ ธิบุญมาและคณะ. (2549). **การอบแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรด**. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 33(2), 169-180.
- [31] อนุสรนา นาดิและคณะ. (2555). **จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับ ลมร้อนและลมร้อน**, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(2), 130-138.
- [32] วิชรินทร์ ดงบัง. (2556). **รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร**. วารสาร วิทยาศาสตร์บูรพา. 18(2), 299-304.
- [33] ปัญญา สำราญหันต์และคณะ. (2563). **การควบคุมอุณหภูมิสำหรับห้องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ด้วยระบบอัตโนมัติ**. วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม. 7(1), 38-48.

- [34] ณัฐพล ศรีสิทธิโกกุล. (2548). การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้ง **เครื่องเทศและสมุนไพร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร.
- [35] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และสมบัติ ทีฆะทรัพย์. (2556). **เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ**. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 7(1), 23-31.
- [36] ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. (2556). **เรื่องอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลต่อประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์**. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ม.อบ. 6(2), 46-54.
- [37] จักรกฤษณ์ สารการและคณะ. (2560). **การอบแห้งรังสีอินฟราเรดร่วมกับแสงอาทิตย์สำหรับสับปรดหั่นแฉ้งในตู้อบแห้งแบบถาดหมุน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- [38] จิตรพงษ์ เจริญจิตร และคณะ. (2561). **ระบบแยกประเภทไข่มุก ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ**. การประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9.
- [39] Liu, Guang-rong. (2010). Rice Color Inspection Based on Image Processing Technique. *Advances In Energy Engineering*. 2010: 134-137.
- [40] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2564. อัตราค่าไฟฟ้า. ออนไลน์: https://www.pea.co.th/Portals/0/demand_response/Electricity%20Reconsider.pdf. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2564.



บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

ศรายุทธ เมมาณี อีทัต ดลวิชัย และ บุญโชค พ้อตาแสง.(2564). **ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วย
รังสีอินฟราเรด.งานประชุมวิชาการระดับชาตินนทรีอีสาน ครั้งที่ 9**



ภาคผนวก ข

ผลการทดลองตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลองการตากแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยแสงแดดธรรมชาติ

ชั่วโมง	W_t (กรัม)	W_d (กรัม)	W_w (กรัม)	MC (% d.b)	MC (% w.b)
1	100	25.16	74.84	297.46	74.84
2	95.05	25.16	69.89	277.78	73.53
3	91.85	25.16	66.69	265.06	72.61
4	86.73	25.16	61.57	244.71	70.99
5	82.96	25.16	57.8	229.73	69.67
6	80.48	25.16	55.32	219.87	68.74
7	79.01	25.16	53.85	214.03	68.16
8	78.54	25.16	53.38	212.16	67.97
9	74.4	25.16	49.24	195.71	66.18
10	71.58	25.16	46.42	184.50	64.85
11	68.62	25.16	43.46	172.73	63.33
12	64.98	25.16	39.82	158.27	61.28
13	61.02	25.16	35.86	142.53	58.77
14	57.92	25.16	32.76	130.21	56.56
15	56	25.16	30.84	122.58	55.07
16	55.12	25.16	29.96	119.08	54.35
17	53.07	25.16	27.91	110.93	52.59
18	51.84	25.16	26.68	106.04	51.47
19	48.92	25.16	23.76	94.44	48.57
20	45.72	25.16	20.56	81.72	44.97
21	41.14	25.16	15.98	63.51	38.84
22	38.84	25.16	13.68	54.37	35.22
23	37.16	25.16	12	47.69	32.29
24	34.75	25.16	9.59	38.12	27.60
25	31.68	25.16	6.52	25.91	20.58
26	30.12	25.16	4.96	19.71	16.47
27	28.35	25.16	3.19	12.68	11.25

ผลการทดลองการอบพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C

ชั่วโมง	W_t (กรัม)	W_d (กรัม)	W_w (กรัม)	MC (% d.b)	MC (% w.b)
0	100	22.6	77.4	342.48	77.40
0.3	91.87	22.6	69.27	306.50	75.40
1	86.33	22.6	63.73	281.99	73.82
1.3	78	22.6	55.4	245.13	71.03
2	74.6	22.6	52	230.09	69.71
2.3	67.24	22.6	44.64	197.52	66.39
3	62.89	22.6	40.29	178.27	64.06
3.3	56.58	22.6	33.98	150.35	60.06
4	51.34	22.6	28.74	127.17	55.98
4.3	47.52	22.6	24.92	110.27	52.44
5	43.44	22.6	20.84	92.21	47.97
5.3	40.03	22.6	17.43	77.12	43.54
6	36.4	22.6	13.8	61.06	37.91
6.3	32.84	22.6	10.24	45.31	31.18
7	29.21	22.6	6.61	29.25	22.63
7.3	28.13	22.6	5.53	24.47	19.66
8	27.12	22.6	4.52	20.00	16.67
8.3	26.48	22.6	3.88	17.17	14.65
9	25.53	22.6	2.93	12.96	11.48

ผลการทดลองการอบพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 70°C

ชั่วโมง	W_t (กรัม)	W_d (กรัม)	W_w (กรัม)	MC (% d.b)	MC (% w.b)
0	100	23.26	76.74	329.92	76.74
0.3	90.515	23.26	67.255	289.14	74.30
1	83.602	23.26	60.342	259.42	72.18
1.3	74.334	23.26	51.074	219.58	68.71
2	70.367	23.26	47.107	202.52	66.94
2.3	63.78	23.26	40.52	174.20	63.53
3	57.705	23.26	34.445	148.09	59.69
3.3	51.344	23.26	28.084	120.74	54.70
4	46.23	23.26	22.97	98.75	49.69
4.3	39.774	23.26	16.514	71.00	41.52
5	36.014	23.26	12.754	54.83	35.41
5.3	32.035	23.26	8.775	37.73	27.39
6	28.21	23.26	4.95	21.28	17.55
6.30	26.12	23.26	2.86	12.30	10.95

ผลการทดลองการอบพริกชี้ฟ้าด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 80°C

ชั่วโมง	W_t (กรัม)	W_d (กรัม)	W_w (กรัม)	MC (% d.b)	MC (% w.b)
0	100	22.83	77.17	338.02	77.17
0.3	89.16	22.83	66.33	290.54	74.39
1	81.774	22.83	58.944	258.19	72.08
1.3	70.668	22.83	47.838	209.54	67.69
2	66.154	22.83	43.324	189.77	65.49
2.3	56.32	22.83	33.49	146.69	59.46
3	50.52	22.83	27.69	121.29	54.81
3.3	42.108	22.83	19.278	84.44	45.78
4	35.12	22.83	12.29	53.83	34.99
4.3	30.028	22.83	7.198	31.53	23.97
5	25.588	22.83	2.758	12.08	10.78

ผลการวิเคราะห์ประเมินค่าสีของพริกชี้ฟ้าแห้งที่ผ่านการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติและการอบแห้งจากตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด

The screenshot shows the MATLAB R2019a interface. The Editor window contains the following code:

```

1  clc; clear all;
2
3  %Accessing Pixel Values of an RGB Image
4  color_image = imread('C:\Users\ACER\OneDrive\Desktop\KK.JPG');
5
6  red_value = color_image(50,70,1);
7  green_value = color_image(50,70,2);
8  blue_value = color_image(50,70,3);
9
10 sprintf('Value of the red, green and blue pixel is %d, %d, %d', red_value, green_value, blue_value)
11

```

The Command Window shows the output:

```

ans =
'Value of the red, green and blue pixel is 213, 188, 183'
fx >> |

```

The Workspace window shows the following variables:

Name	Value	Size
ans	'Value of the r...	1x55
blue_value	183	1x1
color_image	4640x6960x3...	4640x...
green_value	188	1x1
red_value	213	1x1

ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งชี้ฟ้าในท้องตลาด

The screenshot shows the MATLAB R2019a interface. The Editor window contains the following code:

```

1  clc; clear all;
2
3  %Accessing Pixel Values of an RGB Image
4  color_image = imread('C:\Users\ACER\OneDrive\Desktop\AA.JPG');
5
6  red_value = color_image(50,70,1);
7  green_value = color_image(50,70,2);
8  blue_value = color_image(50,70,3);
9
10 sprintf('Value of the red, green and blue pixel is %d, %d, %d', red_value, green_value, blue_value)
11

```

The Command Window shows the output:

```

ans =
'Value of the red, green and blue pixel is 222, 196, 195'
fx >>

```

The Workspace window shows the following variables:

Name	Value	Size
ans	'Value of the r...	1x55
blue_value	195	1x1
color_image	4640x6960x3...	4640x...
green_value	196	1x1
red_value	222	1x1

ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งชี้ฟ้าตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติ

Workspace

Name	Value	Size
ans	'Value of the r...	1x55
blue_value	186	1x1
color_image	4640x6960x3...	4640x...
green_value	187	1x1
red_value	213	1x1

```

1 clc; clear all;
2
3 %Accessing Pixel Values of an RGB Image
4 color_image = imread('C:\Users\ACER\OneDrive\Desktop\60.JPG');
5
6 red_value = color_image(50,70,1);
7 green_value = color_image(50,70,2);
8 blue_value = color_image(50,70,3);
9
10 sprintf('Value of the red, green and blue pixel is %d, %d, %d', red_value, green_value, blue_value)
11

```

Command Window

```

ans =
'Value of the red, green and blue pixel is 213, 187, 186'

fx >>

```

ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งซึ่งฟ้าอบด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60°C

Workspace

Name	Value	Size
ans	'Value of the r...	1x55
blue_value	190	1x1
color_image	4640x6960x3...	4640x...
green_value	190	1x1
red_value	214	1x1

```

1 clc; clear all;
2
3 %Accessing Pixel Values of an RGB Image
4 color_image = imread('C:\Users\ACER\OneDrive\Desktop\70.JPG');
5
6 red_value = color_image(50,70,1);
7 green_value = color_image(50,70,2);
8 blue_value = color_image(50,70,3);
9
10 sprintf('Value of the red, green and blue pixel is %d, %d, %d', red_value, green_value, blue_value)
11

```

Command Window

```

ans =
'Value of the red, green and blue pixel is 214, 190, 190'

fx >>

```

ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งซึ่งฟ้าอบด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 70°C

The image shows the MATLAB R2019a environment. The workspace contains variables: ans (1x55), blue_value (1x1), color_image (4640x6900x3), green_value (1x1), and red_value (1x1). The script in the editor is as follows:

```

1 clc; clear all;
2
3 %Accessing Pixel Values of an RGB Image
4 color_image = imread('C:\Users\ACER\OneDrive\Desktop\80.JPG');
5
6 red_value = color_image(50,70,1);
7 green_value = color_image(50,70,2);
8 blue_value = color_image(50,70,3);
9
10 sprintf('Value of the red, green and blue pixel is %d, %d, %d', red_value, green_value, blue_value)
11

```

The Command Window shows the output:

```

ans =
'Value of the red, green and blue pixel is 230, 206, 206'
fx >>

```

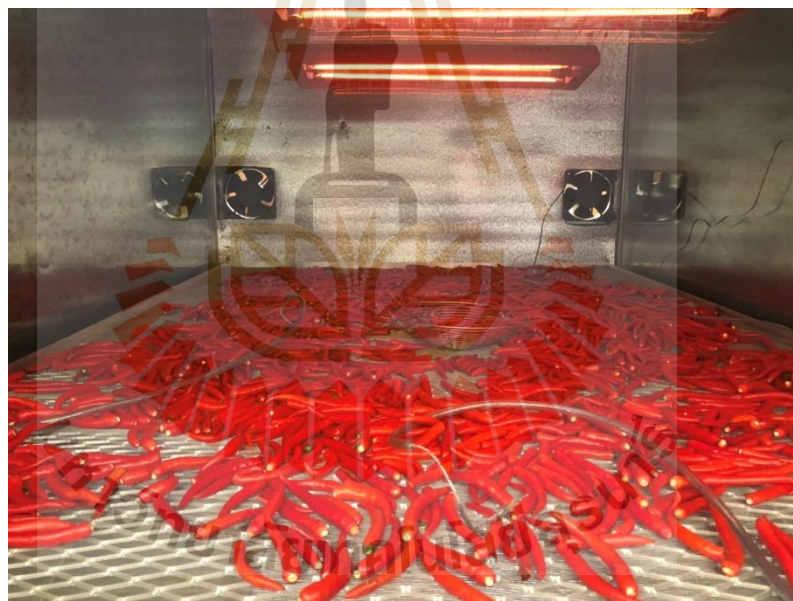
ผลการประเมินค่าสีพริกแห้งซึ่งฟ้าอบด้วยตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 80°C



แสดงการเก็บบันทึกค่าความเข้มของแสงแดดระหว่างวันในการทดลอง



แสดงการเก็บข้อมูลน้ำหนักในพริกด้วยการอบด้วยตู้อบ



แสดงวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบและตัวอย่างในการเก็บผลการทดลอง



แสดงการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ



แสดงการเก็บบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ของตู้อบ

ประวัติผู้เขียน

นายศรายุทธ เมหาพี เกิดวันที่ 27 พฤศจิกายน 2535 ณ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนเทศบาล ๓ (พินิจพิทยานุสรณ์) อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ในปีการศึกษา 2550 จบระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่าง อิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคโนโลยีและการจัดการนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ในปี การศึกษา 2554 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ จากวิทยาลัย เทคโนโลยีและการจัดการนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ในปีการศึกษา 2556 และสำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาครุศาสตร์ อุตสาหกรรมบัณฑิต วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม (ค.อ.บ.) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ในปีการศึกษา 2559

ในปี พ.ศ. 2563 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนจาก มหาวิทยาลัยนครพนม ได้ทำงานอยู่ในวิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม ในตำแหน่งอาจารย์ ประจำสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ เปิดสอนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

ผลงานวิจัยในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ ระดับชาตินวัตกรรมหรือสาน ครั้งที่ 9 ประจำปี พ.ศ. 2564 เรื่อง “ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสี อินฟราเรด”