การอบแห้งกล้วยหอมดิบด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบความร้อนเสริมควบคุมทางไกลผ่านสมาร์ทโฟน

BANANA CHIPS DRYING IN SOLAR GREENHOUSE IN ASSOCIATION WITH SMARTPHONE-CONTROLLED HEAT SYSTEM

ฤทธิรงค์ เสนาโนฤทธิ์[1] และ กมลวรรณ จิตจักร[2]
[1]นักศึกษา, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110, senanoritoath@gmail.com
[2]อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110, Kamonwan_ji@rmutto.ac.th

Ritthirong Senanorit[1] and Kamonwan Jitjack[2]
[1]Student, Energy Technology Department, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, 43 Moo 6 Bangpra Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 20110, Thailand, senanoritoath@gmail.com
[2]Lecturer, Energy Technology Department, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, 43 Moo 6 Bangpra Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 20110, Thailand, kamonwan_ji@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยหอมดิบด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ คือ ระบบที่ 1 โรงเรือนอบแห้งแบบปกติ ระบบที่ 2 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อนและควบคุมระบบอบแห้งทางไกลผ่านสมาร์ทโฟน ที่สามารถสังเกตุการณ์โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง แหล่งพลังงานความร้อนเสริมภายในโรงเรือนใช้จากเครื่องเป่าลมร้อน (Heat gun) โดยกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 50 °C และ 70 °C การทดสอบระบบ พบว่าระบบสามารถทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ โดยการสั่งการผ่านสมาร์ทโฟน ทำให้สามารถติดตามผลการทำงานทั้งหมดของระบบอบแห้งได้ สำหรับคุณภาพกล้วยหอมดิบหลังการอบแห้ง พบว่าทั้งสองอุณหภูมิ

ใช้เวลาในการอบแห้งใกล้เคียงกันโดยใช้เวลา 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ และได้ความชื้นสุดท้าย 8.01%db. ค่าสีของการอบแห้งไม่แตกต่างจากตัวอย่างกล้วยอบแห้งด้วยลมร้อนมากนัก และคุณภาพสีของกล้วยหลังอบแห้งที่ 50 °C มีค่าความสว่าง (L) ใกล้เคียงกับกล้วยสดมากที่สุด ความแตกต่างของสีโดยรวม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) หลังการอบแห้งมีค่า 0.577 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (<0.6)

คำสำคัญ: โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, กล้วยหอมทอง,อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ABSTRACT

This research was aimed to study the kinetics of drying raw banana chips in two solar greenhouse systems: System 1, normal greenhouse drying; and System 2, greenhouse and supplementary heat system controlling by smart phone. The two systems were observed and controlled via smart phone app. and an auxiliary heat source from a heat gun. the system was setup to dry raw bananas to find out the efficiency. The system was able to control the specified temperatures very well via a smartphone and the drying performance could be monitored on the smartphone screen. The result of the quality of bananas after drying revealed that at the determined temperature, they took only 4 and 5 hours respectively where the final moisture content was at 8.01 %db. In term of color quality, bananas from the test had almost the same brightness (L) as raw bananas. The overall color difference were 17.01 and 17.45. There were no statistically significant differences ($p<0.05$). The water activities (a_w) were 0.577, which were below the standard (<0.6).

KEYWORDS: Smart Solar Greenhouse, Raw Banana Chips, Internet of Things

1. บทนำ

กล้วยเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภค ทั่วไป ทั้งในและต่างประเทศ กล้วยที่นิยมปลูกและรับประทานส่วนใหญ่ มีสามสายพันธุ์ [1] คือ กล้วยน้ำหว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม กล้วยหอมเป็นกล้วยที่สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย มีสรรพคุณที่ดีมากทั้งผลสุก และผลดิบ ซึ่งการทานผลดิบ มีประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นแหล่งไฟเบอร์สูงที่เส้นใยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการขับถ่ายได้ดี ดีต่อหัวใจเพื่อเป็นแหล่งที่อุดมด้วยโพแทสเซียมที่สามารถควบคุมความดันโลหิตให้คงที่ ช่วยให้การทำงานของไตมีประสิทธิภาพ ช่วยลดน้ำหนัก เป็นแหล่งแป้งที่ดีต่อสุขภาพ โดยเป็นแป้งที่ไม่ย่อยสลายในช่วงที่ร่างกายดูดซึมอาหาร ทำให้แป้งนี้จะกลายเป็นแบคทีเรียในลำไส้ ลดคลอเรสเตอรอลในร่างกาย และรักษากรดไหลย้อน เป็นต้น ดังนั้นจึงมีแนวคิด

การแปรรูปกล้วยให้เป็นผงแป้งที่ได้จากการอบแห้ง เพื่อไปประยุกต์ในการบริโภค เช่น ชงกับน้ำร้อนรับประทาน ส่วนผสมของอาหารหรือขนมเพื่อสุขภาพ สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วย รวมถึงเป็นการสร้างรายได้เสริมให้เกษตรกร วิธีการตากแดดเป็นวิธีการที่ต้องใช้ระยะเวลาผลิตนาน ผลผลิตปนเปื้อนสิ่งสกปรกต่างๆ ดังนั้นการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกที่สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่นำมาแปรรูปได้ เนื่องจากสามารถป้องกันฝุ่นละอองรวมทั้งป้องกันฝน และแมลงต่างๆ อีกทั้งอุณหภูมิภายในยังมีค่าสูงกว่าอากาศแวดล้อม ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ แต่ก็ไม่สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการอบแห้งหรือในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำหรือไม่เหมาะสมต่อการอบแห้ง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระบบอบแห้งกล้วยหอมดิบเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อน ขนาดครัวเรือนที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เพื่อเกษตรกรรายย่อย และเพื่อสร้างให้เกษตรกรไทยในยุค THAILAND 4.0 ให้เป็น Smart Farmer นั่นคือ การไม่ทำร้ายธรรมชาติ ใช้ทรัพยากรเท่าที่จำเป็น เกิดความสะดวกในการทำงานมากขึ้น และสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น เช่น การมีพื้นที่เล็ก ๆ ให้สามารถปลูกแบบผสมผสานและให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น และใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิต ก่อให้เกิดการพัฒนา ซึ่งต้องมีความเข้าใจตั้งแต่กระบวนการผลิต การบริหารจัดการ เข้าใจธรรมชาติ และเข้าใจเทคโนโลยี [2] ดังนั้นจึงได้นำเอาเทคโนโลยีไอโอที (IoT) มาใช้ในการควบคุมระบบการอบแห้งในโรงเรือนอบแห้งคือ อุณหภูมิและความชื้น แล้วระบบไอโอทีดังกล่าวนำส่งข้อมูลที่ได้ผ่านคลาวน์ (Cloud) และแสดงผลข้อมูลบนสมาร์ทโฟนและทำให้สามารถควบคุมระบบการอบแห้งได้ [3] ดั้งนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาจลพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยหอมดิบด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อนและควบคุมระบบอบแห้งทางไกลผ่านสมาร์ทโฟน โดยทำการศึกษาการทำงานของระบบควบคุมการอบแห้งด้วยระบบ IoT ศึกษาคุณภาพด้านสี ค่าปริมาณน้ำอิสระและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เพื่อที่สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เพื่อไปพัฒนาต่อยอดในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและสร้างให้เกษตรให้เป็น Smart Farmer ในอนาคตต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบโรงเรือนอบแห้งพร้อมระบบเสริม

โรงเรือนอบแห้งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมหลังคาโค้ง ขนาด (กว้างxยาวxสูง) 1.04x1.25x0.83 เมตร ปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตชนิดใส ประตูทางทางเข้าทำจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 0.5 มิลลิเมตร พื้นโรงเรือนทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร ภายใต้พื้นปูด้วยฉนวนกัน

ความร้อนเพื่อป้องกันการนำความร้อนจากภายในโรงเรือนสู่บรรยากาศภายนอก มีช่องอากาศเข้าด้านหน้า จำนวน 2 ช่อง โดยมีแผ่นฟิลเตอร์กรองฝุ่นละอองจากด้านนอก ส่วนด้านหลังมีพัดลมระบายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 3 วัตต์ จำนวน 2 ตัว โดยเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 แผง แล้วเพิ่มแหล่งความร้อนเข้าไปในระบบซึ่งเลือกใช้แหล่งความร้อนเสริมเป็นฮีตเตอร์ชนิดปืนลมร้อน (Heat Gun) ขนาด 2 kW ที่นิยมใช้ในระบบให้ความร้อนทั่วไป ติดตั้งง่ายและความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟ มีการสูญเสียความร้อนต่ำ ประสิทธิภาพสูงประหยัดไฟฟ้าได้ 30-50% ทำการติดตั้งบริเวณโครงตรงกลางโรงเรือนสูงจากถาดใส่ผลิตภัณฑ์ 60 เซนติเมตร เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่องจึงออกแบบระบบควบคุมการอบแห้งอัตโนมัติ ซึ่งหลักการทำงานของระบบอบแห้งภายในโรงเรือนคือ เมื่อ อุณหภูมิภายในของระบบอบแห้งต่ำกว่าที่กำหนดใน 2 ค่าอุณหภูมิ คือ 50 °C และ 70 °C ระบบความร้อนเสริมจากปืนลมร้อน จะทำงานอัตโนมัติโดยให้ความร้อนกับระบบอบแห้ง ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมและไม่สูงเกินไปในการอบแห้งกล้วยหอม ทำให้คุณภาพสีหลังการอบแห้งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่นำไปแปรรูปในท้องตลาด [4] โดยรูปที่ 1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมความร้อน

รูปที่ 1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อน

วิธีการคำนวณค่าความร้อนเพื่อให้สามารถเลือกขนาดของฮีตเตอร์ที่ใช้ในการอบแห้ง ได้อย่างเหมาะสมโดยใช้สมการในการคำนวณดังสมการที่ (1) [5]

$$Q = mC_p\Delta T \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน (kJ)

m คือ มวลของอากาศภายในโรงเรือน (kg)

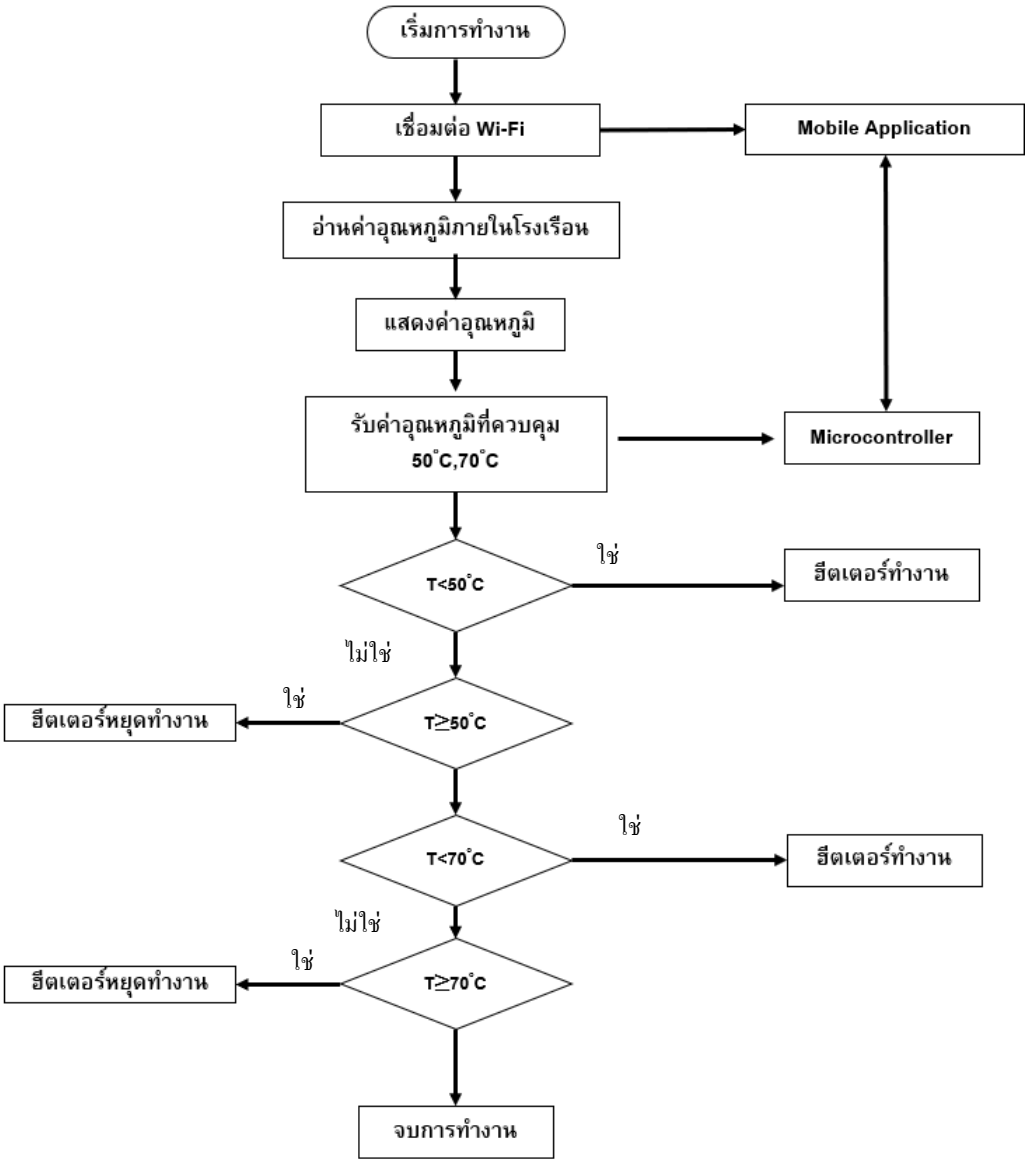
C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของอากาศ (kJ/kg K)

ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิสุดท้ายและเริ่มต้น (K)

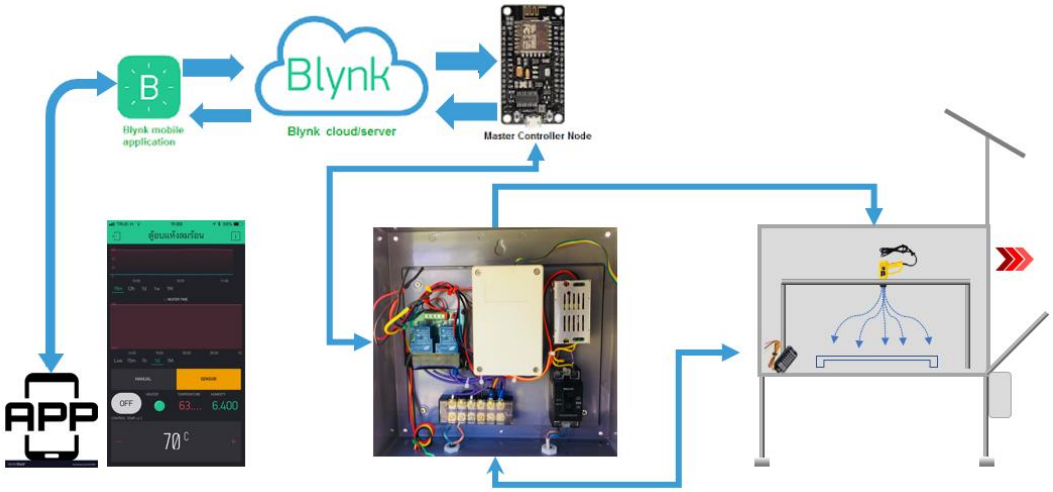
2.2 การออกแบบระบบสั่งการระยะไกล (IoT)

ขั้นตอนการทำงานของแอพพลิเคชั่นสำเร็จรูป blink แอพพลิเคชั่น เป็นการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบ IoT สามารถกำหนดค่าตัวแปรอุณหภูมิได้ตามต้องการ ควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยกำหนดเงื่อนไขการตั้งค่าอุณหภูมิผ่านแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟน โดยการตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร โดยเลือกค่า 50 °C และ 70 °C และให้ระบบสั่งการทำงานของระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ทำงาน เมื่ออุณหภูมิในโรงเรือนต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่กำหนดและส่งค่าแสดงผลการทำงานไปยังสมาร์ทโฟน พร้อมทั้งอ่านค่าความชื้นภายในโรงเรือน ณ ช่วงเวลาใด ๆ ดังแสดงในผังการตั้งค่าระบบควบคุมการอบแห้งอัตโนมัติในรูปที่ 2

จากรูปที่ 3 แสดงการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติโดยหลังจากติดตั้งโปรแกรมโครงสร้างการเชื่อมต่อระบบ Wi-Fi แล้วระบบจะประมวลผล และส่งข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการอ่านค่าเซ็นเซอร์เข้าสู่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รับหรือส่งข้อมูลค่าควบคุมและอุณหภูมิจากสมาร์ทโฟน ระบบควบคุมจะส่งค่าไปที่ส่วนการทำความร้อนเพื่อเปิดปิดการทำความร้อนตามที่กำหนด ข้อดีของการเลือกใช้ Blink แอพพลิเคชั่น คือมีฟังก์ชั่นการใช้งานที่ง่ายเลือกรูปแบบ ออกแบบการควบคุมและหน้าจอแสดงผลได้ตามต้องการและราคาไม่สูงหากเปรียบเทียบกับแอพพลิเคชั่นอื่น



รูปที่ 2 ผังระบบควบคุมการอบแห้งโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3 ระบบควบคุมอุณหภูมิและหน้าจอแสดงผลระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

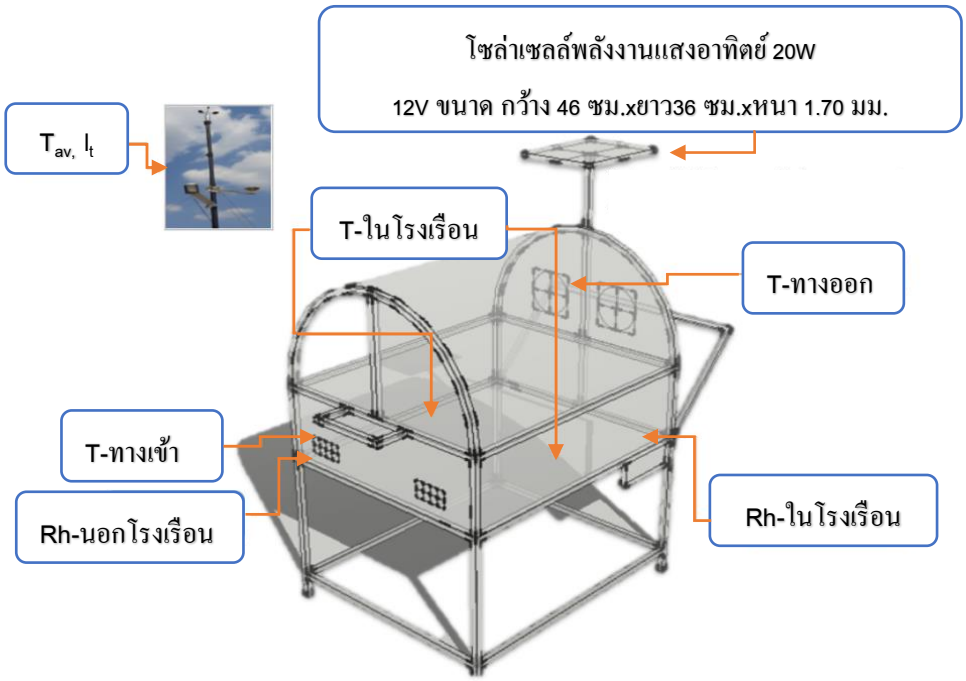
2.3 วิธีการทดลอง

เตรียมกล้วยหอมทองดิบ โดยทำการปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นแว่นขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร ทำการทดลองอบแห้งกล้วยหอมดิบในโรงเรือนอบแห้ง 2 ระบบ คือ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อนและควบคุมระบบอบแห้งด้วยระบบควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ปกติ นำกล้วยดิบที่ทำเป็นแผ่นบางแล้วมาอบแห้งภายในโรงเรือนครั้งละ 1 กิโลกรัม เริ่มต้นทำการทดลองตั้งแต่ช่วงเวลา 08:30-18:00 น. ในระหว่างการทดลองได้ทำการชั่งหาน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที ลักษณะแผ่นกล้วยหอมดิบกับตำแหน่งการวางภายในโรงเรือนแสดงดังรูปที่ 4

(ก) ชิ้นกล้วยหอบดิบก่อนการทดลอง **(ข) ตำแหน่งการวางถาดภายในโรงเรือน**

รูปที่ 4 การอบแห้งกล้วยหอมดิบแผ่นภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุม IoT

ทั้งนี้ได้เก็บค่าอุณหภูมิภายในและอุณภูมิภายนอกโรงเรือน อุณหภูมิตำแหน่งทางเข้าและทางออกของโรงเรือน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน ความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม ข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งตำแหน่งการวัดค่าต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5 และทำการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อระบบเสริมความร้อนทำงาน ทำการอบแห้งกล้วยหอมดิบจากความชื้น 312.80%db. จนแห้งหรือ มีค่าความชื้นสุดท้าย 8.01%db. [4]



รูปที่ 5 ตำแหน่งการวัดของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และมวลตัวอย่างภายในโรงเรือนอบแห้ง

นำตัวอย่างกล้วยหอมดิบไปชั่งน้ำหนัก (w) ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ AND รุ่น GF-3000 ความแม่นยำ ±0.02 กรัม แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) และตั้งอุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหามวลแห้ง (d) แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นได้จากสมการที่ (2) [6, 7]

$$MC = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db.)

w คือ น้ำหนักของกล้วยที่เวลาใดๆ (g)

d คือ น้ำหนักแห้งของกล้วย (g)

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง เป็นอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานที่ให้กับระบบอบแห้ง คำนวณได้ดังสมการที่ (3) [6]

$$\eta_{th} = \frac{(m_i - m_f) \cdot h_{fg}}{(A_c \cdot I_t + E_h) \cdot t} x100\% \quad (3)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบโรงเรือนอบแห้ง (%)

m_i คือ มวลของกล้วยหอมดิบก่อนการอบแห้ง (kg)

m_f คือ มวลของกล้วยหอมดิบหลังการอบแห้ง (kg)

h_{fg} คือ พลังความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (kWh/kg)

A_c คือ พื้นที่โรงเรือนที่รับรังสีอาทิตย์ (m^2)

I_t คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือน (W/m^2)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

E_h คือ พลังงานที่ใช้กับฮีตเตอร์ (kWh)

ทดสอบคุณภาพสีของกล้วยหอมดิบหลังการอบแห้งด้วยเครื่อง Portable Colorimeter 3NH รุ่น NH310 มาตรฐานชนิดแหล่งกำเนิดแสง D65 เป็นการทดสอบสีแบบ CIE L*a* b* โดยแสงสว่างที่ 6500 K มีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่า 0.04 (ΔE^*ab) โดยค่า L คือ ค่าความสว่างมีค่า 0-100 หรือสีดำถึงสีขาว ค่า a แสดงค่า (+) สีแดง หรือ(-) สีเขียว และค่า b แสดงค่า (+) สีเหลือง หรือ(-) สีน้ำเงิน แล้วนำค่าสีที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ และคำนวณหาค่าความแตกต่างกันของสีโดยรวมดังสมการที่ (4)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4)$$

โดยที่ ΔE คือ ความแตกต่างกันของสีโดยรวม

ΔL คือ ความแตกต่างของความสว่างก่อนและหลังอบแห้ง

Δa คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียวก่อนและหลังอบแห้ง

Δb คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงินก่อนและหลังอบแห้ง

วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระรุ่น AQUALAB PRE มีช่วงการวัดปริมาณน้ำอิสระ 0.05-1.00 ความละเอียดการแสดงผล 0.001 ความแม่นยำ ±0.01 โดยการนำตัวอย่างของกล้วยหอมดิบหลังจากการอบแห้งทุกเงื่อนไข ใส่ลงในถ้วยพลาสติก แล้วใส่ตัวอย่างลงในเครื่อง รอการแสดงผลแล้วบันทึกค่าที่วัดได้ แล้วนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติและรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

การหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นอัตราส่วนการใช้พลังงานของโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อความชื้นที่ระเหยออกจากกล้วยหอมดิบในช่วงเวลาการทดลองอบแห้ง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (5) และกรณีระบบความร้อนเสริมโดยใช้ฮีตเตอร์ปืนลมร้อน ซึ่งต้องรวมพลังงานของฮีตเตอร์ที่ให้กับโรงเรือนอบแห้งด้วยในการคำนวณ

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_i - m_f} \quad (5)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/gwater-evap.)

E_p คือ ปริมาณพลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh)

m_i คือ น้ำหนักของกล้วยก่อนอบแห้ง (g)

m_f คือ น้ำหนักของกล้วยหลังอบแห้ง

3. ผลการวิจัย

3.1 การทดสอบระบบสั่งการทางไกล

เมื่อทำการออกแบบโรงเรือนพร้อมระบบเสริมความร้อนจากฮีตเตอร์ปืนลมร้อนขนาด 2 kW ติดตั้งตรงกลางโรงเรือน แล้วทำการทดสอบระบบสั่งการระยะไกลที่ได้จัดทำขึ้น จากผลการทดสอบระบบพบว่า สามารถควบคุมอุณภูมิและความชื้น ภายในโรงเรือนได้ โดยอาศัยการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งไว้ภายในโรงเรือน ข้อมูลความชื้นและอุณหภูมิอ่านค่าได้จากเซ็นเซอร์ DHT21 สามารถแสดงผลผ่านทางสมาร์ทโฟน แสดงผลข้อมูลอุณหภูมิและค่าความชื้นที่อ่านได้แบบเรียลไทม์ (Real time) ทุก ๆ 5 นาที การทำงานแบบอัตโนมัติจะทำงานเมื่อฟังก์ชั่นโหมดในหน้าจออยู่ที่โหมดเซ็นเซอร์ การทำงานของกล่องควบคุมสามารถสังเกตการณ์การทำงานขณะกล่องควบคุมทำงานได้โดยกล่องจะแสดงไฟ LED หนึ่งจุดแสดงสถานะพร้อมทำงานและไฟ LED แสดงสองตำแหน่งแสดงว่าฮีตเตอร์กำลังทำงาน ดังรูปที่ 6

(ก) ชุดควบคุม IoT

(ข) หน้าจอแสดงผลบนสมาร์ทโฟน

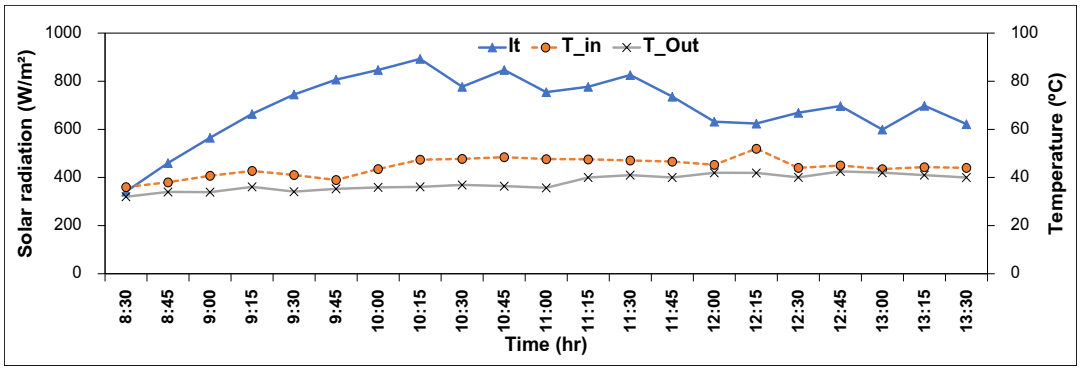
(ค) สถานะพร้อมทำงาน

(ง) สถานะการทำงานของฮีตเตอร์

รูปที่ 6 ชุดควบคุม IoT และการแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นบนหน้าจอสมาร์ทโฟนและชุดกล่องควบคุม IoT การแสดงสถานะการทำงานของฮีตเตอร์

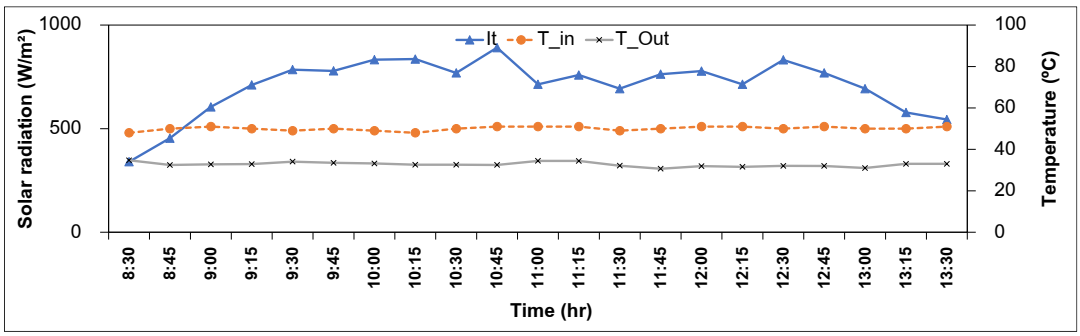
3.2 การทดสอบระบบกล้วยหอมดิบ 2 ระบบ

ระบบที่ 1 การใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ปกติผลการทดลองพบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง จากค่าความชื้นเริ่มต้น. 308.59 %db. จนมีความชื้นสุดท้าย 8.25%db. ในระหว่างการทดลอง มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลา 08:30-13:30 น. มีค่า 694 W/m² และค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 37.95 ° C และอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ย 44.36 ° C ดังรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของช่วงเวลา ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิภายในโรงเรือน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลากับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิภายในโรงเรือน

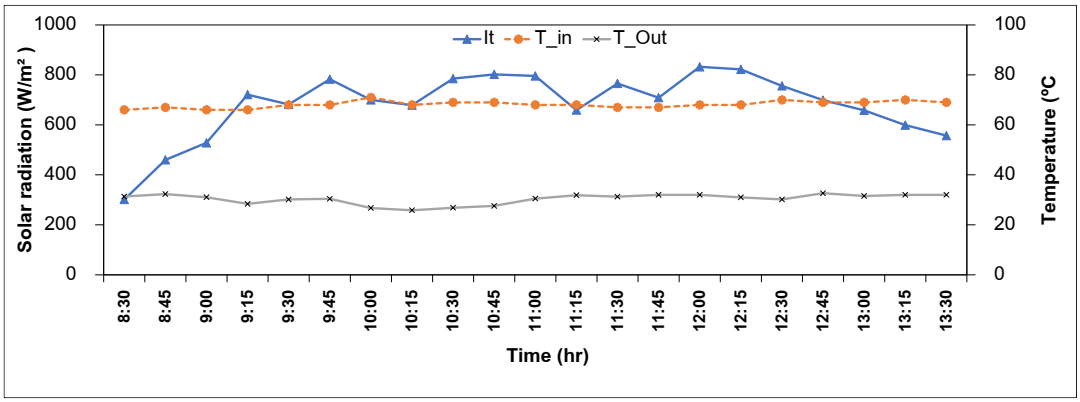
ระบบที่ 2 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อนและควบคุมระบบอบแห้งทางไกลผ่านสมาร์ทโฟน การตั้งค่าอุณหภูมิการอบแห้ง 50 ºC ผลการทดลองพบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 5 ชั่วโมง ในช่วงเวลาการทดลอง 8:30-13:30 จากค่าความชื้นเริ่มต้น 321.5 %db. จนมีความชื้นสุดท้าย 8.32%db. ในระหว่างการทดลองมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 707 W/m² และค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 32.72 ºC ระบบควบคุมมีการตัดต่อระบบเพื่อควบคุมค่าอุณหภูมิอบแห้งให้ไม่ต่ำกว่า 50 ºC จึงทำให้การอบแห้งมีอุณหภูมิคงที่ต่อเนื่องตลอดการทดลอง รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิภายในโรงเรือนในช่วงการทดลอง



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลากับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่อุณหภูมิควบคุม 50 ºC

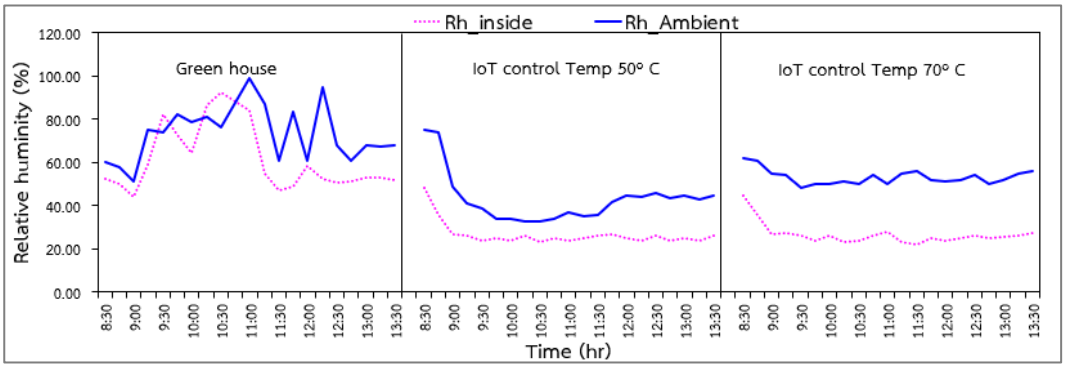
การตั้งค่าอุณหภูมิการอบแห้ง 70 ºC ผลการทดลองพบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 8:30-13:30 น. ในระหว่างการทดลองมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 681 W/m² และ

ค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 30.37 ºC ดังรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของช่วงเวลากับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิภายในโรงเรือนในช่วงการทดลอง



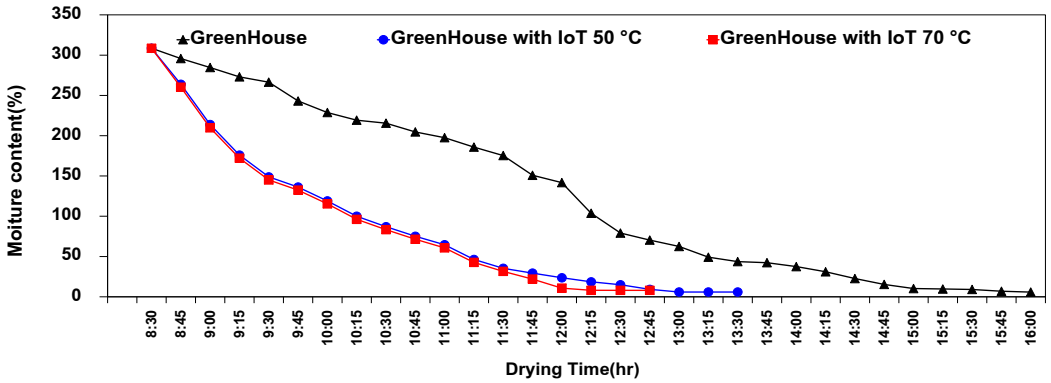
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลากับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่อุณหภูมิควบคุมที่ 70 ºC

จากรูปที่ 10 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในกับสิ่งแวดล้อมภายนอกโรงเรือนใน 2 ระบบการอบแห้ง คือระบบที่ 1 การอบแห้งโดยใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ระบบที่ 2 อบแห้งโดยใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ปืนลมร้อนควบคุมด้วยระบบ IoT ที่อุณหภูมิ 50 และควบคุมอุณหภูมิ 70 ºC พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทั้งสามรูปแบบมีค่าต่ำกว่าภายนอกทุกรูปแบบ เนื่องจากอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะกรณีควบคุมระบบอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 และ 70 ºC จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่คงที่ด้วย

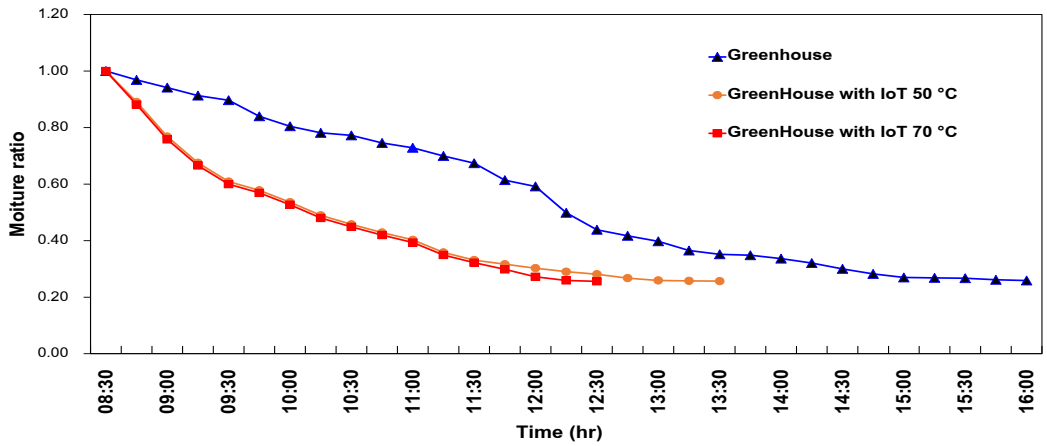


รูปที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้ง เปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

ปริมาณความชื้นของการอบแห้งกล้วยหอมดิบจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามเวลาการอบแห้ง จากความชื้นเริ่มต้น 312.80%db. และอบแห้งจนลดลงเหลือค่าความชื้นสุดท้าย 8.01 %db. พบว่าอุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง อยู่ที่ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 °C ใช้เวลาอบแห้งอยู่ที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 11 ภายในโรงเรือนอบแห้ง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์คงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย 26.9% ซึ่งเมื่อค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งเฉลี่ยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำ วัสดุจะสามารถคายความร้อนได้ดี จึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นกว่า ดังรูปที่ 12 อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและคงที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิควบคุมซึ่งอุณหภูมิ 70 °C สามารถให้ค่าพลังงานความร้อนในโรงเรือนและชิ้นกล้วยที่มากกว่าและเร็วกว่าอุณหภูมิ 50 °C เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นนั้นเป็นการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ในวัสดุทำให้สามารถระเหยน้ำได้เร็วและมากขึ้นทำให้อัตราส่วนความชื้นลดลงได้เร็วกว่า [8]



รูปที่ 11 ปริมาณความชื้นที่ลดลงตามเวลาภายในโรงเรือนอบแห้งทั้ง 2 ระบบ



รูปที่ 12 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นภายในโรงเรือนอบแห้งทั้ง 2 ระบบ

คุณภาพสีของกล้วยจากตารางที่ 1 พบว่ากล้วยสดมีค่าความสว่าง (L) เฉลี่ย 83.39±2.06 และผลของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ70 °C ค่าที่วัดได้มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาการอบแห้งด้วยลมร้อนมากขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 67.83±6.44 ถึง 67.09±6.80 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 18.66 และ 19.74 ตามลำดับ ส่วนค่าสีแดง (a) พบว่ากล้วยสด มีค่าความเป็นสีแดงเฉลี่ย 2.44±0.46 เมื่อเทียบกับหลังอบแห้งจะมีค่าอยู่ในช่วง 7.54±2.63 ถึง 8.49±1.35 ตามลำดับ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 2.96 และ 8.48 และความเป็นสีเหลือง (b) พบว่ากล้วยสด มีค่าความเป็นสีเหลืองเฉลี่ย 17.75±1.31 เมื่อเทียบกับหลังอบแห้งจะมีค่าอยู่ในช่วง 10.68±2.8 ถึง 12.05±2.22 ตามลำดับ มีแนวโน้มที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 39.90 และ 32.19 ความแตกต่างของสีโดยรวมหลังการอบแห้งพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ลดลงจะส่งผลต่อความแตกต่างของสีโดยรวมที่ต่ำลง พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ 50 °C มีค่าความแตกต่างของสีโดยรวมต่ำที่สุด 17.10 เนื่องจากใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าทำให้การรับความร้อนน้อยลง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยลง [9]

ส่วนค่าปริมาณน้ำอิสระของกล้วยสดมีค่าเฉลี่ย 0.68±0.05 และหลังอบแห้งกล้วย พบว่ากล้วยมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.53±0.02 ถึง 0.58±0.02 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอาหารที่กำหนด ($\leq$0.6) [10]

ตารางที่ 1 คุณภาพด้านสีของกล้วยหอมดิบก่อนและหลังการอบแห้ง

เงื่อนไขวิธีการทดลอง	ความชื้นสุดท้าย (%db.)	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	คุณภาพสีของกล้วยหลังอบแห้ง				ปริมาณน้ำอิสระ $(a_w)^{ns}$
			L^{ns}	a^{ns}	b^{ns}	ΔE^{ns}	
กล้วยสด	-	-	83.39±2.06	2.44±0.46	17.75±1.31	-	0.68±0.05
อบแห้งที่ 50 °C	8.32	5	67.83±6.44	7.54±2.63	10.68±2.81	17.10	0.53±0.02
อบแห้งที่ 70 °C	8.01	4	67.09±6.80	8.49±1.35	12.05±2.22	17.45	0.58±0.02

^{ns} คือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 ºC มีค่า 0.155 MJ/gwater-evap. โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 5 ชั่วโมง และ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 ºC มีค่า 0.135 MJ/gwater-evap. โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการอบแห้งกล้วยที่ 4 ชั่วโมง จะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่า [10] หากพิจารณาเงื่อนไข

การอบแห้งจากความสิ้นเปลืองพลังงานและประสิทธิภาพทางความร้อนการอบที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 ºC เป็นเงื่อนไขที่ดีกว่าเนื่องจากเวลาที่สั้นและความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 ºC [11]

ตารางที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพทางความร้อน

Control condition	Drying time (Hr)	Electrical Energy (Kwh)	SEC ($MJ/g_{water-evap.}$)	η_{th} (%)
โรงเรือนอบแห้ง	8	-	-	2.19
อบแห้งที่ 50°C	5	1.97	0.155	2.11
อบแห้งที่ 70°C	4	2.15	0.135	3.05

4. สรุป

การพัฒนาโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบเสริมความร้อนและควบคุมระบบอบแห้งทางไกลผ่านสมาร์ทโฟน สำหรับอบแห้งกล้วยหอมดิบ ระบบสามารถทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้งอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพันธ์ ทำให้สามารถทำงานได้สะดวกขึ้นโดยการควบคุมทางไกล และสามารถทำให้การอบแห้งดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง และจากการทดลองอบแห้งกล้วยหอมดิบทั้ง 2 ระบบ พบว่าระบบที่ 2 มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่ 1 โดยการ ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งที่ 50 ºC สามารถอบแห้งกล้วยหอมดิบภายใน 5 ชั่วโมง ได้ความชื้นสุดท้าย 8.32 %db. และได้คุณภาพของกล้วยหลังอบแห้งโดยมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ที่ 0.53±0.02 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ คือไม่เกิน 0.6 ในการควบคุมอุณหภูมิที่ 70 ºC สามารถอบแห้งกล้วยหอมดิบจนถึงความชื้นที่ต้องการได้ภายใน 4 ชั่วโมง ได้ความชื้นสุดท้าย 8.01 %db. และได้คุณภาพของกล้วยหลังอบแห้งโดยมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ที่ 0.58±0.02 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ คือไม่เกิน 0.6 จากการเปรียบเทียบการอบแห้งพร้อมกับการควบคุมทั้งสองอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 70 ºC สามารถอบแห้งกล้วยหอมดิบในระยะเวลาที่สั้นกว่า คือใช้เวลาเพียง 4 ชั่วโมงและมีประสิทธิภาพมากกว่าอุณหภูมิ 50 ºC แม้ว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะสูงกว่าเล็กน้อย แต่ก็ได้ผลความชื้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

References

[1] Department of Agriculture. The banana varieties. Research and Development Institute of Kasetsart University [Internet]. 1998 [cited 2021 April 15]. Available from: https://www.qmlcorp.com/content/Thai farmers-thailand-4.0. (In Thai)

[2] Wongsila S. Internet of things for smart of farmer. Science and Technology Research Research Institute [Internet]. 2021 [cited 2021 Jul 15]. Available from: http://www.stri.cmu.ac.th/article detail.php?id=78. (In Thai)

[3] Fongnong V, Petchhan S, Yamho R. Application with the internet of things technology control in smart farms Mushroom. Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University Journal 2018;5(1):172-82. (In Thai)

[4] Doungporn S, Loikew A, Punphom P, Thaipituk P. Drying of Gros Michel banana by using solar combined with infrared dryer. The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University 2019;16(1):12-24. (In Thai)

[5] Patcharaprakiti N. A Paraboiled gaba rice (Khaohang) and drying process with solar energy and infrared electromagnetic wave. RMUTL Engineering Journal 2016;1(1):43-50. (In Thai)

[6] Ongprasert T, Jitjack K. A study of solar greenhouse drying in association with infrared heater for dehydration cherry tomatoes. Kasem Bundit Engineering Journal 2020;10(3):62-83. (In Thai)

[7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg, Maryland: Association of Official Analytical Chemists; 2000.

[8] Jaekhom S. Witinantakit K. Mathematical modeling of combined infrared and vacuum drying of galangals. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(3):29-43. (In Thai)

[9] Choosri W, Wiriyawattana P, Promsakha na Sakon Nakhon P, Choosri T. Effect of hot-air drying process on properties of dried ripe bananas and pumpkins. Food Technology Siam University Journal 2020;15(1):37-52. (In Thai)

[10] Jaekhom S, Witinantakit K. Drying kinetics of chicken using superheated steam technique. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(3):201-7. (In Thai)

[11] Manangan W, Kittinantakit K. Water lily using pulsed vacuum-infrared combined with silica sand embedding. Kasem Bundit Engineering Journal 2020;10(3):84-98. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ

ฤทธิรงค์ เสนาโนฤทธิ์ ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายวางแผนและควบคุมการผลิต (แผนก Production control) บริษัท เอ็กเซดี้ ประเทศไทย จำกัด 700/316 หมู่ที่ 6 อมตะซิตี้ชลบุรี เฟส 3 ต.ดอนหัวฬ่อ อ.เมืองชลบุรี จ.ชลบุรี 20000
โทรศัพท์ 091-770-5603 Email: senanoritoath@gmail.com

กมลวรรณ จิตจักร ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทรศัพท์ 092-332-556 6 Email: kamonwan_ji@rmutto.ac.th

Article History:
Received: August 5, 2021
Revised: December 16, 2021
Accepted: December 20, 2021