

การพัฒนาเครื่องอบแห้งชิงด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติที่ควบคุม ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

ฐิติกร ลำพรหมสุข^{1*} , นัตพงษ์ โชติพันธ์¹ , ปรุฬห์ มะยะเฉียว¹ , พลากร พรหมเมศรี¹
และ กรสิริณัฐ โรจนวรรณ¹

¹สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุธวิทยาลัย

*kentiti310342@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งชิงแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนกระบวนการแปรรูปของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรบ้านทรายทอง อำเภอสุนทรราช จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเน้นการแก้ไขปัญหาการตากชิงแบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้สม่ำเสมอในช่วงฤดูฝน เครื่องอบแห้งชิงแบบใช้หลักการเป่าลมร้อนร่วมกับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งสามารถควบคุมการเปิดปิดระบบไฟส่องสว่าง เปิดปิดพัดลม และอุณหภูมิการอบ โดยแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Telegram ได้แบบเรียลไทม์ การประเมินประสิทธิภาพดำเนินการโดยวัดปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้นและหลังการอบ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ ระยะเวลาในการอบ และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่บริโภค เครื่องอบแห้งชิงแบบนี้นี้สามารถควบคุมการทำงานผ่านเว็บไซต์แดชบอร์ด (Web Dashboard) และส่งการแจ้งเตือนสถานะการทำงานแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน Telegram เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและสั่งงานเครื่องได้สะดวกแม้อยู่ระยะไกล โดยระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น ควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์และพัดลมให้เปิด-ปิดตามค่าที่กำหนด พร้อมทั้งบันทึกและส่งข้อมูลการทำงานผ่านเครือข่าย Wi-Fi เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ความปลอดภัย และประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยผู้วิจัยสามารถแสดงผลตัวชี้วัดต่างๆ ของเครื่องต้นแบบสามารถลดความชื้นของชิงจากระดับ 100% (Dry Basis) เหลือความชื้นเฉลี่ยเพียง 8.25% ได้ภายในเวลาเฉลี่ย 5.76 ชั่วโมง ขณะที่วิธีตากแดดใช้เวลาเฉลี่ยถึง 23.25 ชั่วโมงและให้ค่าความชื้นเฉลี่ยที่สูงกว่าถึง 13.62% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.58 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อรอบการอบ ทั้งนี้ เทคโนโลยี IoT ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานได้ตลอดเวลา เพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกต่อการใช้งานในระดับชุมชน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งชิงแบบมีศักยภาพต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงและต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งชิง เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง เครื่องอบพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพการลดความชื้น



Development of a Semi-Automated Hot Air Ginger Dryer Controlled by Internet of Things Technology

Thitikorn Lumpromsuk^{1*}, Nattapong Chotipan¹, Paroon Mayachearw¹, Palakorn Prommet¹
and Kornsirinut Rothjanawan¹

¹Program in Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering,
Princess of Naradhiwas University

*kentiti310342@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the efficiency of a semi-automatic hot air ginger dryer integrated with Internet of Things (IoT) technology. The prototype was designed and developed to support the ginger processing operations of the Ban Sarayo Community Enterprise in Su-ngai Kolok District, Narathiwat Province. It specifically addresses the limitations of traditional sun-drying methods, which lack consistent quality control during the rainy season. The dryer utilizes a hot air circulation system controlled via IoT, allowing real-time operation and monitoring through the Telegram application.

Performance evaluation was conducted based on key indicators including initial and final moisture content, drying temperature, drying time, and electrical energy consumption. The prototype consists of an 800-watt heater, high-speed air circulation fan, and integrated temperature and humidity sensors connected to an ESP32 microcontroller.

The results showed that the dryer could reduce the ginger's moisture content from 100% (d.b.) to an average of only 8.25% within 5.76 hours. In contrast, traditional sun drying required approximately 23.25 hours and resulted in an average moisture content that was 13.62% higher, with statistical significance at the 0.05 level. The average power consumption was 7.58 kilowatt-hours per drying cycle. The IoT system enhanced operational convenience and safety by providing continuous status updates. The study demonstrates that the prototype dryer has strong potential for real-world application and future commercial development

Keywords: Ginger drying machine, Internet of Things (IoT) technology, Electric drying equipment, Dehumidification efficiency

1. บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นหนึ่งในประเทศที่มีบทบาทสำคัญในตลาดการเกษตรโลก โดยเฉพาะในด้านการส่งออกผลิตภัณฑ์การเกษตรหลากหลายชนิดไปยังต่างประเทศ หนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูงในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา คือ ชিং เนื่องจากมีคุณสมบัติทางยาที่หลากหลาย และได้รับความนิยมในการนำไปใช้ประกอบอาหารอย่างแพร่หลาย ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ข้อมูลจาก World Integrated Trade Solution ระบุว่าในปี 2566 ไทยส่งออกชิงในปริมาณ 89,411.9 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 2,689 ล้านบาท [1] แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความต้องการชิงไทยที่เติบโตต่อเนื่องและมีฐานทางการตลาดที่แข็งแกร่งในตลาดโลก

ชิงเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ได้รับการยอมรับด้านคุณภาพ และได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นหนึ่งในสินค้าส่งออกหลักของประเทศ เพื่อรองรับความต้องการดังกล่าว การพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม วิธีการแปรรูปชิงโดยเฉพาะกระบวนการอบแห้งในปัจจุบันยังคงพึ่งพาแรงงานคนและใช้เวลานาน การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการแปรรูปจึงมีความจำเป็น [2] โดยเฉพาะในพื้นที่เพาะปลูกหลัก ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศและดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของชิง

ในบริบทของจังหวัดนราธิวาส มีความพยายามในการส่งเสริมการปลูกและแปรรูปชิงในระดับชุมชน โดยเฉพาะในพื้นที่บ้านชราโย ซึ่งมีพื้นฐานเป็นชุมชนเกษตรกรรมดั้งเดิม [3] โครงการส่งเสริมการปลูกและแปรรูปชิงโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษ 2000 ได้มุ่งยกระดับรายได้และคุณภาพชีวิตของเกษตรกรท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม วิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิม เช่น การตากแดด หรือการอบแบบชั่วคราว ยังมีข้อจำกัดหลายด้าน ได้แก่ ระยะเวลาที่ยาวนาน ความเสี่ยงจากสภาพอากาศ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งชิงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมได้อย่างแม่นยำ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งชิงด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่สามารถควบคุมการทำงานผ่านระบบ Internet of Things เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ความปลอดภัย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนลดระยะเวลาและแรงงานในการแปรรูป โดยมุ่งหวังให้สามารถใช้งานได้จริงในระดับครัวเรือนและชุมชน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งชิงแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT)

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถอบแห้งชิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. กรอบแนวคิด

การพัฒนาเครื่องอบแห้งชิงด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้จากหลายสาขา ทั้งด้านเทคโนโลยีการอบแห้ง เทคโนโลยีการเกษตรอัจฉริยะ ดังนี้

4.1 เทคโนโลยีการอบแห้งในงานแปรรูปสมุนไพร

การอบแห้งเป็นเทคนิคถนอมอาหารที่นิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่งสำหรับพืชสมุนไพร ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพโดยรวมของพืชสมุนไพร เทคนิคการอบแห้งสามารถรักษาคุณสมบัติได้ดี ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ [4] จากการศึกษาของ Nurhaslina et al. [5] และ An [6] พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็น

วิธีการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับพืช กระบวนการอบแห้งช่วยรักษาสารประกอบชีวภาพที่สำคัญ และคุณภาพการต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้น การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมมีผลต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์ในพืชและสมุนไพรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดยแนะนำให้อยู่ในช่วง 55–65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ งานวิจัยของอภิญา สายศรีแก้ว และคณะ [7] ยังพบว่า การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถแก้ปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง การรบกวนจากแมลง การควบคุมอุณหภูมิตามที่ผลิตภัณฑ์ต้องการ สภาพอากาศ เป็นต้น และยังช่วยลดเวลาในการอบและเพิ่มความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการตากแดดแบบดั้งเดิม [8]

4.2 เทคโนโลยี IoT ในภาคเกษตรกรรม

IoT ได้กลายเป็นหัวใจสำคัญของการเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) โดยเฉพาะในการควบคุมกระบวนการผลิตจากระยะไกล ระบบควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT สำหรับเทคโนโลยีอาหารเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการควบคุมคุณภาพของพืชหลังการเก็บเกี่ยว จากการศึกษาของ Mishra et al. [9] พบว่า ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาสภาพแวดล้อมในการอบแห้งได้อย่างแม่นยำ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับบรรยากาศภายในของเครื่องอบได้อย่างน่าเชื่อถือ และสามารถแจ้งเตือนได้อย่างเหมาะสม โดยอิงจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ และยังพบว่า เครื่องอบแบบ IoT สามารถรักษาคูณภาพที่เหนือกว่ากระบวนการอบแห้งแบบเดิม

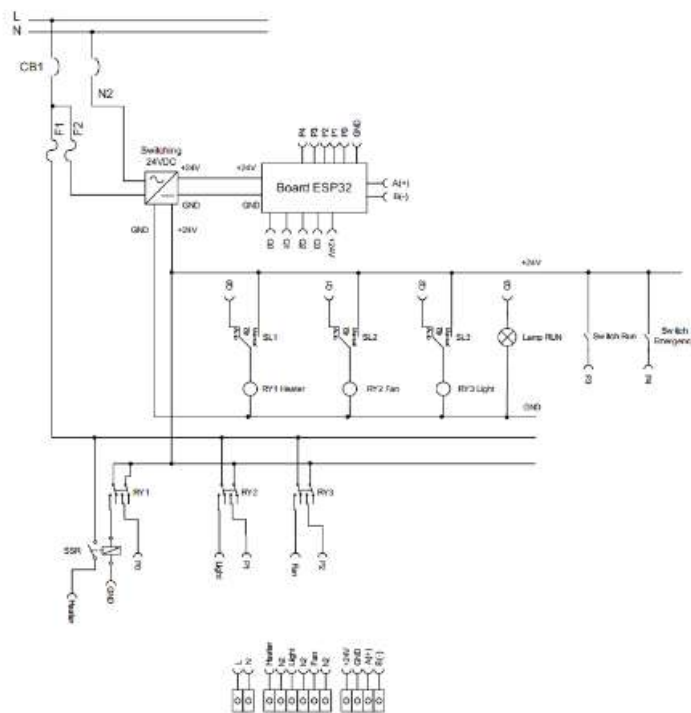
5.วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองควบคู่กับการสำรวจเชิงปริมาณและการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังต่อไปนี้

5.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอบแห้งกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT เริ่มจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบควบคุมภายในเครื่อง โดยมี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ทำหน้าที่ควบคุมและประสานการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น อุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า (Solid State Relay) ฮีตเตอร์ และพัดลมหมุนเวียนอากาศ ภายในแผงวงจรควบคุมจะประกอบด้วยชุดจ่ายไฟ (Power Supply) ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟหลักให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยจ่ายแรงดันให้กับบอร์ด ESP32 และอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ขณะที่วงจรกำลังสำหรับควบคุมฮีตเตอร์และพัดลมจะแยกออกจากวงจรควบคุม เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า เมื่อเริ่มกระบวนการอบแห้ง เซ็นเซอร์ภายในห้องอบจะทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอย่างต่อเนื่อง จากนั้นส่งข้อมูลเข้าสู่ขาอินพุตของ ESP32 เพื่อประมวลผลตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในโปรแกรมควบคุม เช่น การรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง พืช หากอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะส่งสัญญาณควบคุมผ่านวงจรรีเลย์เพื่อเปิดการทำงานของฮีตเตอร์ และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งลดหรือหยุดการทำงานของฮีตเตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้มีความคงที่ ในส่วนของพัดลมหมุนเวียนอากาศ ESP32 จะทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิด เพื่อช่วยกระจายลมร้อนให้ทั่วถึงภายในห้องอบ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความสม่ำเสมอ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนออกจากชั้นพืช

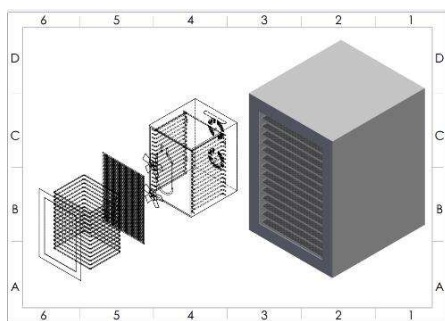
นอกจากนี้ ระบบยังเชื่อมต่อกับ แอปพลิเคชัน Telegram ผ่าน Telegram Bot API เพื่อส่งการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน เช่น การเริ่มต้นกระบวนการอบ อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด การสิ้นสุดกระบวนการอบ หรือความผิดปกติของระบบ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามและควบคุมเครื่องอบแห้งจากระยะไกลได้ ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วงจรทำงานเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมนร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT

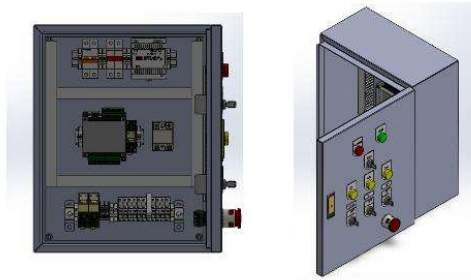
5.2 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมนร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการออกแบบให้มีความสามารถในการกระจายลมนร้อนได้อย่างทั่วถึงเพื่อการอบซึ่งมีประสิทธิภาพ ภายในตู้จะมีพัดลมขนาดแรงลมสูง ซึ่งจะเป่าลมนร้อนจากฮีตเตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ โดยมีเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นคอยตรวจสอบและควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งซึ่งให้เป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้ โครงสร้างภายในห้องอบได้รับการออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับวางถาดอบหลายชั้น เพื่อให้ลมนร้อนสามารถไหลเวียนผ่านผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึง ลดการสะสมของความชื้นภายในตู้ และช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในทุกระดับของห้องอบ นอกจากนี้ ตัวเครื่องยังถูกออกแบบให้มีลักษณะปิด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอก และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยแสดงแบบร่าง 3D เครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมนร้อนต้นแบบ ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบร่าง 3Dเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมนร้อนต้นแบบ

นอกจากนี้ยังมีในส่วนของตู้คอนโทรลของเครื่องอบแห้งซึ่งจะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น และใช้ข้อมูลเหล่านั้นในการควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ และ พัดลม ให้อยู่ในระดับที่กำหนด โดยสามารถควบคุมผ่าน เว็บไซต์แดชบอร์ด และ แอปพลิเคชัน Telegram ที่เชื่อมต่อกับระบบ IoT ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะของเครื่องและสั่งงานเครื่องอบแห้งซึ่งได้จากระยะไกล โดยแสดงแบบร่าง 3D ตู้คอนโทรลของเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมร้อนต้นแบบ ตามภาพที่ 3

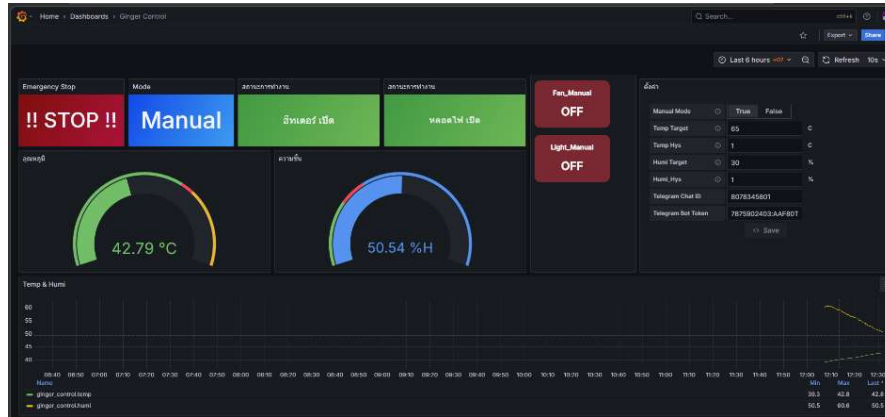


ภาพที่ 3 แบบร่าง 3D ตู้คอนโทรลของเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมร้อนต้นแบบ



ภาพที่ 4 ต้นแบบเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT

หน้าจอ Web Dashboard แสดงข้อมูลการทำงานของเครื่องอบแห้งซึ่งแบบเรียลไทม์ ประกอบด้วยค่าอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) สถานะการทำงานของฮีตเตอร์ (Heater) พัดลม (Fan) และหลอดไฟ (Light) พร้อมทั้งแสดงกราฟบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นย้อนหลัง เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภายในตู้อบตลอดกระบวนการอบแห้ง นอกจากนี้ ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Temperature Target) ค่าความชื้นเป้าหมาย (Humidity Target) รวมถึงกำหนดค่า Hysteresis เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดฮีตเตอร์และพัดลมได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งสามารถเลือกโหมดการทำงานแบบ Manual หรือ Automatic และสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ผ่านระบบได้จากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ช่วยเพิ่มความสะดวกในการติดตาม ควบคุม และบริหารจัดการกระบวนการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าจอ Web Dashboard สำหรับติดตามและควบคุมเครื่องอบแห้งเชิงแบบเรียลไทม์

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเชิงด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติร่วมกับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ระบบสามารถติดตามและควบคุมการทำงานของเครื่องผ่าน Web Dashboard ได้แบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งส่งการแจ้งเตือนสถานะการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Telegram เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องได้จากระยะไกล โดยระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบ แล้วประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์และพัดลมให้เป็นไปตามค่าที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้

Web Dashboard แสดงข้อมูลการทำงานที่สำคัญ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ความชื้น สถานะการทำงานของฮีตเตอร์ พัดลม และหลอดไฟ พร้อมทั้งแสดงกราฟบันทึกข้อมูลย้อนหลัง ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Temperature Target) ค่าความชื้นเป้าหมาย (Humidity Target) และเลือกโหมดการทำงานแบบ Manual หรือ Automatic ได้ผ่านระบบ นอกจากนี้ ข้อมูลการทำงานยังถูกส่งผ่านเครือข่าย Wi-Fi ไปยังแอปพลิเคชัน Telegram เพื่อแจ้งเตือนเหตุการณ์สำคัญ เช่น การเริ่มต้นการอบ การสิ้นสุดการอบ หรือเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นผิดปกติ ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวก ความปลอดภัย และประสิทธิภาพในการควบคุมเครื่องอบแห้ง

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองอบแห้งขิงสดจำนวนละ 10 กิโลกรัม เปรียบเทียบระหว่างเครื่องต้นแบบและการตากแดดแบบดั้งเดิม โดยวัดค่าเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น ค่าความชื้นคงเหลือ และพลังงานที่ใช้หลังการอบขิงตามมาตรฐานวิศวกรรมอาหาร (ตามตารางที่ 1) ข้อมูลเชิงทดลองที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับ สถิติ t-test แบบ independent sample เพื่อพิจารณาความแตกต่างของประสิทธิภาพในการอบแห้งระหว่างเครื่องต้นแบบและวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการอบขิง

วิธีการอบ/ครั้งที่	ค่าความชื้นหลังอบ (%)	เวลาในการอบ (ชม.)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
อบด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT			
ครั้งที่ 1	8.50	5.93	3.69
ครั้งที่ 2	9.52	5.88	3.43
ครั้งที่ 3	9.58	6.38	3.36
ครั้งที่ 4	8.54	5.77	3.36
ครั้งที่ 5	8.24	5.04	2.98



ตารางที่ 1 ผลการทดลองการอบซิง (ต่อ)

วิธีการอบ/ครั้งที่	ค่าความชื้นหลังอบ (%)	เวลาในการอบ (ชม.)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
ครั้งที่ 6	7.44	5.49	3.59
ครั้งที่ 7	7.09	5.29	3.94
ครั้งที่ 8	7.77	6.03	3.07
ครั้งที่ 9	7.46	6.06	3.15
ครั้งที่ 10	8.38	5.70	3.41
การตากแห้งแบบดั้งเดิม			
ครั้งที่ 1	12.80	27.70	-
ครั้งที่ 2	13.97	21.88	-
ครั้งที่ 3	15.65	21.56	-
ครั้งที่ 4	14.42	20.08	-
ครั้งที่ 5	11.34	24.39	-
ครั้งที่ 6	15.48	24.34	-
ครั้งที่ 7	13.77	23.40	-
ครั้งที่ 8	11.04	22.56	-
ครั้งที่ 9	13.08	26.11	-
ครั้งที่ 10	14.69	20.47	-

6. ผลการวิจัย

ผลการวิจัย ประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องต้นแบบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิม

6.1 ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งต้นแบบ

การทดลองอบแห้งซิงด้วยเครื่องต้นแบบซึ่งควบคุมด้วยระบบ IoT สามารถลดความชื้นจากระดับเริ่มต้น 100% (Dry Basis) เหลือเฉลี่ยเพียง 8.25% ภายในเวลาเฉลี่ย 5.76 ชั่วโมง ขณะที่การอบด้วยการตากแดดใช้เวลาเฉลี่ยนานถึง 23.25 ชั่วโมง และให้ค่าความชื้นเฉลี่ยที่สูงกว่าอยู่ที่ 21.87% ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นหลังการอบแห้ง

วิธีการอบ	N	$\bar{x}$	SD	t	p-value
อบด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบ IoT	10	8.25	0.84	-9.51	0.000**
การตากแห้งแบบดั้งเดิม	10	13.62	1.58		

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

วิธีการอบ	N	$\bar{x}$	SD	t	p-value
อบด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบ IoT	10	5.76	0.40	-22.40	0.000**
การตากแห้งแบบดั้งเดิม	10	23.25	2.41		

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

นอกจากนี้ เครื่องอบแห้งต้นแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในได้ที่ระดับ 60–65°C อย่างสม่ำเสมอ และสามารถส่งข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ รวมถึงแจ้งเตือนสถานะผ่านแอปพลิเคชัน Telegram ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกและปลอดภัยให้กับผู้ใช้งาน

7. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบทั้งด้านการลดความชื้น ระยะเวลาในการอบ และการควบคุมการทำงานผ่านระบบ Internet of Things (IoT)

ผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งต้นแบบสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งซึ่งลงได้อย่างมาก และควบคุมระดับความชื้นได้อย่างแม่นยำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิม ซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าและให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้ เครื่องต้นแบบยังสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบอัตโนมัติ และส่งข้อมูลการทำงานแบบเรียลไทม์ไปยังแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น เครื่องอบแห้งซึ่งแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการยกระดับกระบวนการผลิตซึ่งในภาคเกษตรกรรม และสามารถต่อยอดไปยังการอบแห้งพืชสมุนไพรชนิดอื่น ๆ ได้ในอนาคต

8. อภิปรายผล

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งซึ่งด้วยลมร้อนแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) มีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิมอย่างชัดเจน ทั้งในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการอบ และระดับความชื้นตกค้างของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถลดความชื้นจากระดับสูงถึง 100% (d.b.) ให้เหลือเฉลี่ยเพียง 8.25% ได้ภายในเวลาเฉลี่ยไม่ถึง 6 ชั่วโมง ซึ่งประสิทธิภาพนี้เหนือกว่าวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิมที่ใช้เวลาเฉลี่ยนานกว่า 20 ชั่วโมง และได้ความชื้นเฉลี่ยหลังอบสูงถึง 13.62% ผลนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมปัจจัยด้านอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้คุณภาพของซึ่งแห้งมีความสม่ำเสมอ และเหมาะสมต่อการแปรรูปในระดับมาตรฐาน ทั้งนี้เครื่องต้นแบบควบคุมอุณหภูมิการอบให้อยู่ในช่วง 60–65°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งซึ่ง และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งระบุว่า การอบแห้งในช่วงอุณหภูมิประมาณ 55–65°C สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งช่วยรักษาคุณภาพของซึ่งและลดการสูญเสียสารสำคัญที่เกิดจากการใช้ความร้อนสูงเกินไป ดังนั้น การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เครื่องอบแห้งต้นแบบสามารถผลิตซึ่งแห้งที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูง ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Zhang et al [10] ที่ชี้ให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถลดระยะเวลาและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการอบแห้งแบบเปิดโล่ง อีกทั้งยังตอบสนองต่อแนวคิดด้านวิศวกรรมการเกษตรที่เน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต

นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยี IoT ในการควบคุมและติดตามค่าต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ยังช่วยยกระดับความสะดวกและความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับ Tan et al. [11] ที่พบว่า IoT มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มและเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม เครื่องต้นแบบยังมีข้อจำกัดในด้านขนาดและกำลังการผลิต ซึ่งในการพัฒนาครั้งต่อไปควรพิจารณาปรับปรุงขนาดของเครื่องให้เหมาะสมกับการใช้งานในระดับครัวเรือนและระดับวิสาหกิจชุมชน รวมทั้งศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และต้นทุนการใช้พลังงานเพื่อเพิ่มศักยภาพในการนำไปใช้งานจริง

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 การขยายผลการใช้งานสู่พืชสมุนไพรหรือผลิตภัณฑ์อื่น เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์การเกษตรอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ข่า ตะไคร้ หรือพืชสมุนไพรอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าและขยายโอกาสในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนา

9.2 วิจัยต่อยอดสู่ระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully Automated System) ในอนาคตสามารถพัฒนาระบบ IoT ให้มีความสามารถในการเรียนรู้และควบคุมอุณหภูมิ-ความชื้นแบบอัจฉริยะ (AI-Controlled Drying System) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการใช้งานยิ่งขึ้น

10. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] World Integrated Trade Solution. (2023). Thailand ginger exports by country in 2023.
<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/THA/year/2023/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/091010>
- [2] Boonmee, S., Phuweerojkul, W., Bundangpho, W., & Pluemphanuphat, W. (2018). Efficacy of extracts from ginger (*Zingiber officinale*), garlic (*Allium sativum*), and galangal (*Alpinia galanga*) against *Tetrahymena* sp. infection in guppy (*Poecilia reticulata*). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(Special Issue 1), 261–266. (In Thai)
- [3] Office of Technology Development and Transfer. (2021). Intercropping and integrated agriculture: An alternative to reduce risks for rubber farmers. Agricultural Land Reform Office. (In Thai).
- [4] Nakra, S., Tripathy, S., & Srivastav, P. P. (2025). Drying as a preservation strategy for medicinal plants: Physicochemical and functional outcomes for food and human health. *Phytomedicine Plus*, 5(2), 100762.
- [5] Nurhaslina, C., Bacho, S. A., & Mustapa, A. (2022). Review on drying methods for herbal plants. *Materials Today: Proceedings*, 63, S122–S139.
- [6] An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y., & Xiao, G. (2016). Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry*, 197, 1292–1300.
- [7] Saisrikaew, A., Wannakayont, A., Praisin, A., & Dumnil, S. (2022). Development of a solar energy dryer for food processing controlled by the Internet of Things (IoT) system. *Industrial Technology Journal Surindra Rajabhat University*, 7(2), 42–52. (In Thai)



- [8] Nisaphokun, P., Mhaisri, C., Kobuakao, K., Khongpiam, P., & Phusomma, P. (2024). Hybrid thermal energy dryer for food processing. *Academic Journal of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University*, 2(1), 97–106. (In Thai)
- [9] Mishra, N., Jain, S. K., Agrawal, N., Jain, N. K., Wadhawan, N., & Panwar, N. L. (2023). Development of drying system by using internet of things for food quality monitoring and controlling. *Energy Nexus*, 11, 100219.
- [10] Zhang, C., Schießl, J., Plöchl, L., Hofmann, F., & Gläser-Zikuda, M. (2023). Acceptance of artificial intelligence among pre-service teachers: A multigroup analysis. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 49.