

การออกแบบและพัฒนาเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสำหรับสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ภาคใต้ของประเทศไทย

Design and development of automatic hatching machine for the bantam breed, Ban Wang Nak area in Nakhon Si Thammarat province, Southern Thailand

รวิต คำหาญพล¹, ศักดิ์พี ขุนเพ็ชร², วิชิต มาลาเวช³, ชัญญภาภัก ไชยพรรณ⁴ และ กรีธา แก้วคงธรรม⁵
Rawit Khamhanpol¹, Sakrapee Khunpetch², Vichit Malawech³,
Chanyaphak Chaiyaphan⁴ and Kreetha Keawkongtham⁵

Received: 16 November 2023 ; Revised: 12 February 2024 ; Accepted: 25 March 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกแบบเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสำหรับสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการฟักไข่ไก่แจ้แบบกลับไข่อัตโนมัติ เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดของไก่ในการฟักไข่ไก่แจ้บ้านวังนาคในระยะเวลา 21 วัน โดยใช้การประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และพัฒนาซอฟต์แวร์การควบคุมบนโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ทฤษฎีของฟัซซีลอจิกในการตัดสินใจการควบคุม ซึ่งกฎที่ทำการออกแบบทั้งหมด 9 กฎ การสื่อสารกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตทำการพัฒนา Graphic User Interface (GUI) เพื่อแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการฟักไข่ไก่แบบเรียลไทม์สำหรับผู้ใช้งานสามารถสังเกตการได้อย่างสะดวก โดยเครื่องฟักไข่อัตโนมัติมีขนาด 30x40x120 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) จากผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.86 °C และ 65.16%ตามลำดับ และเมื่อนำไปฟักไข่ไก่แจ้ของกลุ่มพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคเพื่อวิเคราะห์อัตราการตายและอัตราการฟักของไข่ไก่แจ้พบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไข่มีชีวิตที่ 7 วัน เท่ากับ 96.67% เปอร์เซ็นต์ไข่ไม่มีชีวิตที่ 7 วัน เท่ากับ 3.33% เปอร์เซ็นต์ไข่เชื้อตายที่ 7 วัน และ 18 วัน เท่ากับ 1.11% และ 3.45% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไข่ตายโคมค่อนข้างน้อย เท่ากับ 1.11% เปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่มีชีวิต 95.44% และเปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่เข้าฟักทั้งหมด 92.22% โดยภาพรวมจากผลการทดลองการทำงานของเครื่องฟักไข่อัตโนมัติสามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนสำหรับการขยายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาคและเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่ให้เพียงพอต่อความต้องการซื้อของกลุ่มคนที่นิยมไก่แจ้ รวมถึงการเพิ่มจำนวนรอบการฟักไข่ไก่แจ้ให้มากขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องฟักไข่ไก่, ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ, ฟัซซีลอจิก

Abstract

This research aimed to: 1) design and develop an automatic incubator for Ban Wang Nak bantam chickens in Karor, Nopphitam, Nakhon Si Thammarat, to control temperature and relative humidity with an automatic egg-turning mechanism, and 2) improve the hatch rate of bantam eggs within 21 days. The system processes data using an Arduino UNO microcontroller and employs fuzzy logic theory for decision-making. Nine control rules were established, and a Graphic User Interface (GUI) was developed using LabVIEW to display real-time temperature and humidity data for user monitoring. The incubator dimensions are 30x40x120 centimeters (width x length x height). Experimental results for temperature and relative humidity control showed averages of 36.86°C and 65.16%, respectively. The in-

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

⁵ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

^{1,2,3} Electrical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

⁴ Industrial Management Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

⁵ Mechanical engineering, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

* Corresponding author: Email: Sakrapee_khu@nstru.ac.th

cubator was tested with bantam eggs to analyze the fertilization rate, hatch rate, and embryo mortality. The findings indicated that the fertilized egg rate at 7 days was 96.67%, while the unfertilized egg rate was 3.33%. Embryo mortality rates at 7 days and 18 days were 1.11% and 3.45%, respectively. Late embryo mortality was minimal, at 1.11%. The hatching rate for fertilized eggs was 95.44%, with an overall hatch rate of 92.22%. In conclusion, the developed automatic incubator effectively met the needs of the Ban Wang Nak community by enhancing the breeding efficiency of bantam chickens. It increased the survival rate of chicks to meet market demand while supporting more frequent incubation cycles.

Keywords: Hatching machine, Relative humidity, Temperature, Fuzzy logic

บทนำ

ไก่พื้นเมือง (นฤมล, 2018) เป็นสัตว์ที่ออกลูกเป็นไข่ จากไข่จะฟักออกเป็นตัวในภายหลัง โดยที่แม่ไก่จะสะสมอาหารเพื่อเลี้ยงตัวอ่อนภายในฟองไข่ ตามธรรมชาติแม่ไก่จะฟักไข่เอง แต่เนื่องจากความต้องการอาหารของมนุษย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การที่จะปล่อยให้แม่ไก่ได้ทำการฟักไข่เองตามธรรมชาตินั้นไม่อาจจะสนองตอบต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นได้ จึงมีความพยายามคิดค้นหาวิธีการเพิ่มอัตราการขยายพันธุ์ไก่พื้นเมืองให้สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว จึงได้ทำการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องฟักไข่ขึ้น โดยที่เครื่องฟักไข่จะดำเนินการฟักไข่แทนแม่ไก่ตลอดเวลา ทำให้แม่ไก่ทำหน้าที่เฉพาะการออกไข่ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ผู้เลี้ยงไก่พื้นเมือง สามารถนำไปใช้ในการผลิตไก่พื้นเมืองได้ อย่างไรก็ตามการฟักไข่ของแม่ไก่ก็ยังจำเป็นสำหรับเกษตรกร ซึ่งมีเวลาเอาใจใส่ต่อไก่พื้นเมืองน้อย มีทุนน้อย และยังไม่สามารถที่จะซื้อหรือผลิตเครื่องฟักไข่มาใช้ได้ แต่ไม่ว่าจะฟักไข่ด้วยวิธีใดต้องมีความรู้ในการจัดการจึงจะช่วยให้ได้รับผลตอบแทนที่สูงตามความคาดหวัง

วิธีการฟักไข่ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การฟักไข่ด้วยแม่ไก่ และการฟักไข่ด้วยตู้หรือเครื่องฟักไข่ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการฟักไข่แบบใด ปัจจัยหลักที่จะทำให้การฟักไข่มีอัตราการรอดสูง จะประกอบด้วย

1. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการฟักไข่ อุณหภูมิฟักที่เหมาะสมมีความแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในตัวสัตว์นั้น ขนาดไข่ ความพรุนของเปลือกไข่ และระยะเวลาในการฟักไข่ อุณหภูมิฟักไข่ไก่แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะ 18 วันแรกจะใช้อุณหภูมิประมาณ 37.5 - 37.7 องศาเซลเซียส และในระยะ 3 วันหลังใช้อุณหภูมิประมาณ 37.2 - 37.5 (Asma Luemasueni, 2017)

2. ความชื้น (Humidity) ในระหว่างการเจริญของตัวอ่อนจำเป็นต้องได้รับความชื้นที่เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการต่างๆ ดำเนินไปได้ตามปกติ ไข่ฟักจะสูญเสียความชื้นตลอดเวลาในระหว่างการฟัก โดยอัตราการสูญเสีย

ความชื้นจะอยู่ระหว่าง 11-13% การสูญเสียความชื้นจะเกิดมากในช่วงระยะแรกและจะลดลงเรื่อยๆ แล้วจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงท้ายของการฟัก โดยทั่วไปในช่วง 19 วันแรกของการฟัก ไข่ฟักต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60% แต่ในช่วง 3 วันสุดท้ายของการฟัก ไข่ฟักจะต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70-75% (Gayathri et al., 2021)

3. อากาศและการถ่ายเทอากาศในการฟัก (Ventilation) ปริมาณอากาศและอัตราการไหลเวียนของอากาศในตู้ฟักจะต้องเหมาะสม ปริมาณของอากาศที่แลกเปลี่ยนในตู้ฟักนั้นถูกควบคุมโดยตำแหน่งและขนาดของรูระบายอากาศในตู้ฟัก ซึ่งสามารถปรับขนาดได้ตามความต้องการ ความต้องการอากาศจะมากขึ้นในช่วงท้ายๆ ของการฟัก โดยในระยะแรกของการฟักการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นน้อยแต่การแลกเปลี่ยนจะมากขึ้นเมื่อลูกไก่มีการเจริญมากขึ้น ดังนั้นในตู้ฟักไข่จึงควรมีระบบระบายอากาศที่สามารถระบายอากาศได้อย่างเพียงพอ จึงจะทำให้การฟักไข่ได้ผลดี

ไก่แจ้ (ณปภัช ช่วยชูหนู และคณะ, 2020) เป็นไก่พื้นเมืองอีกสายพันธุ์หนึ่ง จัดอยู่ในประเภทสัตว์สวยงาม อยู่คู่สังคมไทยมาเป็นเวลานาน วัตถุประสงค์ของการเลี้ยงเพื่อความสวยงาม และสร้างความเพลิดเพลินให้กับผู้เลี้ยง ซึ่งเดิมทีจะเป็นไก่ป่าที่ขี้อร่อย มีความปราดเปรียว เข้าใกล้ไม่ได้ แต่เพราะมีขนสวยงาม ลักษณะที่น่ารัก และการเลี้ยงไม่ยุ่งยาก ทำให้เกิดการพัฒนสายพันธุ์ให้สามารถอยู่ร่วมกับผู้เลี้ยงได้จับต้องได้และอุ้มได้ โดยมีการพัฒนาต่อเนื่องมาไม่ต่ำกว่า 30 ปี จนสามารถพัฒนาไก่แจ้ไทยได้ถึง 12 สี และพัฒนาไก่แจ้สวยงาม สีสากล 14 สี โดยบ้านวังนาค หมู่ที่ 5 ตำบลกะหรอ อำเภอเทพา จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะพันธุ์เลี้ยงไก่แจ้สวยงาม และสามารถคัดเลือกสายพันธุ์จนได้สายพันธุ์ที่โดดเด่น สีสนสวยงาม ม้องค์ประกอบของไก่แจ้ตรงกับความต้องการของกลุ่มคนที่รักในการเลี้ยงและตลาดของไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาคมีการเพาะเลี้ยงและพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาค โดยการผสมพันธุ์ไก่ตามความรู้สึกลักษณะสีและสายพันธุ์ที่โดดเด่น เป็นระยะเวลากว่า 1 ปี จนได้สายพันธุ์ที่มีความโดดเด่นของสีขาวหางดำ คือ

มีรูปร่างเล็ก มีเครื่องหางคดดำสวยงาม น้ำหนักตรงตามมาตรฐานสากล โดยไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาคมีการพัฒนาสายพันธุ์จำแนกตาม สีด้วยกัน 5 สี ประกอบด้วย ไก่แจ้ขาวหางดำ ไก่แจ้ทองหางดำ ไก่แจ้สีปากเหลือง ไก่แจ้สีเบญจรงค์ และไก่แจ้เทาเปราะสีปาก ซึ่งเป็นจุดเด่นของบ้านวังนาค แต่เนื่องจากประเด็นปัญหาของการฟักไข่เองตามธรรมชาตินั้นไม่อาจจะสนองตอบต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นได้ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการฟักสู่ความต้องการของตลาด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องฟักไข่อัตโนมัติที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการขยายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาค เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่แจ้ให้เพียงพอต่อความต้องการซื้อของกลุ่มคนที่นิยมไก่แจ้ รวมถึงการเพิ่มจำนวนรอบการฟักไข่ไก่แจ้ให้มากขึ้น และเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อสร้างรายได้ให้สูงขึ้นและมีความมั่นคงและยั่งยืนสืบไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lumchanao and Potprarinaya (2018) ออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่สำหรับการตรวจหาตัวอ่อนในไข่ไก่โดยใช้เทคนิคการประมวลผล ภาพดิจิทัล และเพื่อหาประสิทธิภาพการฟักไข่จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดเซนเซอร์วัด อุณหภูมิและความชื้นระบบควบคุมการกลับไข่โดยใช้มอเตอร์เกียร์และชุดกล้องจับภาพนิ่ง พบว่าระบบสามารถปรับค่าอุณหภูมิด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 34-37.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ในช่วง 65-69 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองหาประสิทธิภาพการฟักไข่จำนวน 48 ฟอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยไข่ที่อุดมสมบูรณ์ 45 ฟอง ไข่ที่ไม่อุดมสมบูรณ์ 3 ฟอง ไข่ที่มีรอยแตกร้าว 0 ฟอง ไข่เน่าเสีย 0 ฟอง และอัตราการฟัก 93.75 เปอร์เซ็นต์

Tolentino *et al.*, (2019) พัฒนาระบบฟักไข่สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่เชื่อมต่อและเข้ารหัสโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ผู้ใช้สามารถมีข้อมูลเรียลไทม์ของสถานะวันต่อวันของฟารามิเตอร์ของตู้ฟักไข่ ความเร็วของโปรแกรมการจุดแสงเทียนอัตโนมัติคือ 1.129 วินาที ในขณะที่ประสิทธิภาพของตู้บรึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมไว้ที่ 36° องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นระหว่าง 40% ถึง 60% และระดับที่เหมาะสมคือ 50% สุดท้าย เปอร์เซ็นต์อัตราการฟักไข่ของการฟักไข่โดยใช้ระบบที่เสนอคือ 69.44% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการตรวจหาไข่ที่อุดมสมบูรณ์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพคือ 91.43%

I. Sangole and P. Ardak (2021) กระบวนการฟักไข่ของไข่ทุกชนิดต้องการการดูแลและการจัดการอุณหภูมิที่

เหมาะสม ทำได้โดยหน่วยควบคุมอุณหภูมิซึ่งทำงานบนพลังงานแสงอาทิตย์ไฟฟ้าหรือ LPG เป็นต้น โดยปกติอุณหภูมิ 98 ถึง 100 °F (37 ถึง 38 °C) จะถูกเก็บไว้ในตู้ฟักไข่ ยังคงความสามารถในการฟักไข่ได้ระหว่าง 78 ถึง 85% เท่านั้น มีข้อเสนอแนะหลายประการเพื่อปรับปรุงความสามารถในการฟักไข่ของตู้ฟักไข่ ปริมาณความชื้นยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องกล่าวถึงระหว่าง 60 ถึง 80% นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการที่ต้องทำความเข้าใจขณะฟักไข่ในตู้ฟักไข่ แต่ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือการรักษาช่วงอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

Natasa Popovic (2021) ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจสอบระยะไกลและควบคุมอุณหภูมิในการฟักไข่ไก่โดยใช้ตู้ฟักไข่เทียม ระบบประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ในรูปแบบของหลอดไฟ เซ็นเซอร์อุณหภูมิ รีเลย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูลการสื่อสาร สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุม PID (proportional-integral-derivative) ได้รับการออกแบบซึ่งรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 37.8 °C สามารถอ่านอุณหภูมิได้ทางเว็บเบราว์เซอร์และสามารถเข้าถึงได้โดยใช้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบมีสาย ระบบที่เสนอเป็นวิธีแก้ปัญหาที่เรียบง่าย ต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพมาก ซึ่งให้เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาไก่อย่างเหมาะสมในขณะที่เติบโตภายในไข่

Yadav *et al.*, (2021) นำเสนอการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่แบบใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยใช้การวางไข่ในแนวนอน การวิจัยเชิงทดลองนี้ขับเคลื่อนโดยการออกแบบเฉพาะและสร้างกล่องฟักไข่ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีฉนวนหุ้มอย่างดี ขนาด 400 มม. × 600 มม. × 500 มม. และความหนา 30 มม. โดยเก็บไข่ตัวอย่างไว้เพื่อวิเคราะห์การทดสอบทดลองภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นภายในกล่องซึ่งถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ อุปกรณ์นี้ผลิตขึ้นเพื่อให้ทำงานภายใต้ช่วงอุณหภูมิ 37 °C - 38 °C ซึ่งพบว่าเพียงพอสำหรับการพัฒนาตัวอ่อนและยังรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 45-60% ใน 18 วันแรกและ 60-90% ในช่วงสามวันสุดท้าย โดยเครื่องนี้ถูกปรับในแนวนอนและใช้กลไกการยึดด้วยมอเตอร์ 5 ครั้งต่อวัน ซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยอัตโนมัติสำหรับการเคลื่อนที่ของไข่จนถึง 18 วันของการฟักไข่ โดยสรุป เครื่องฟักไข่นี้มีประสิทธิภาพและความสามารถในการฟักที่ 72.22%

Poolwan *et al.*, (2021) การพัฒนาระบบตู้ฟักไข่อัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง งานวิจัยนี้ได้สร้างตู้ฟักไข่ต้นแบบมีขนาดของตู้ (กว้าง×ยาว×สูง) 50×50×60 เซนติเมตร รองรับการฟักไข่ได้ 56 ฟอง และการประเมินประสิทธิภาพการประมวลผลของเครื่องต้นแบบ เพื่อสามารถประมวลผล ได้อย่างถูกต้องตามสภาพอากาศที่ได้กำหนด และสามารถทำงานในช่วงระยะเวลาอันได้โดยไม่เกิดการผิดพลาด และในส่วนการทำงานบน

สมาร์ตโฟนสามารถอ่านค่าเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของตู้ฟักไข่ได้อย่างถูกต้อง

Purwanti *et al.*, (2021) ระบบการทำงานคือเซนเซอร์ DHT11 จะตรวจจับอุณหภูมิ กล้องเว็บแคมแบบเรียลไทม์จะตรวจสอบสถานะของไข่ จากนั้น Raspberry pi3 จะควบคุมอุณหภูมิและพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติบนตู้ฟักไข่ผ่านจอสมาร์ตโฟน และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ด้วยสถานะของไข่แบบเรียลไทม์ แบตเตอรี่ 12V เป็นพลังงานทดแทนเมื่อไฟฟ้าดับ จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า กล้องเว็บแคมสามารถแสดงสภาพของไข่ในห้องฟักไข่ได้ สมาร์ตโฟน Android สามารถรับข้อมูลด้วยกล้องเว็บแคมระหว่างกระบวนการฟักไข่ เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่สรุปได้

Ikpeseni *et al.*, (2022) ในการศึกษาครั้งนี้ เครื่องฟักไข่สัตว์ปีกที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบประดิษฐ์และทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความสามารถในการฟักไข่ และการอยู่รอดของลูกไก่ องค์ประกอบหลักของการออกแบบ ได้แก่ ตู้ฟักไข่ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอัตโนมัติ และระบบโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดัง Figure 8 โดยทั่วไปห้องฟักไข่จะได้รับการดูแลตลอดระยะฟักตัวที่อุณหภูมิ 36-39 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 60-74% สิ่งนี้จำเป็นเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไปอาจทำให้สูญเสียไข่ในไข่มากเกินไป ซึ่งส่งผลให้ตัวอ่อนขาดน้ำและตายในไข่ได้ในภายหลัง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 37.5 °C และ 67% ตามลำดับ สิ่งเหล่านี้เปรียบได้กับสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของตู้ฟักไข่ไก่ทั่วไป นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพที่ดำเนินการในตู้ฟักไข่ที่ประดิษฐ์พบว่าสามารถฟักไข่และอัตราการรอดชีวิตของลูกไก่ที่ 77% และ 79.2% ตามลำดับ นอกจากนี้ ตู้ฟักไข่ที่ออกแบบมีข้อดีของการพลิกไข่อัตโนมัติสำหรับการสร้างตัวอ่อนที่เหมาะสม เช่นเดียวกับการพลิกไข่ที่ควบคุมด้วยมือด้วยคันทโยก

ขั้นตอนและวิธีวิจัย

1. การออกแบบระบบควบคุมเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ

การพัฒนาออกแบบระบบควบคุมเครื่องฟักไข่ด้วยโปรแกรม LabVIEW และสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา และได้ข้อสรุปในการออกแบบพัฒนานวัตกรรมสร้างเครื่องควบคุมการฟักไข่ไก่ที่บ้านวังนาคแบบอัตโนมัติรายละเอียดแสดงดัง Table 1

Table 1 Design of an automatic Ban Wang Nak chicken egg incubator control system.

Sensitivity Factor	Values
Temperature	37-38 °C
Humidity	60-80%
Egg Turner	45°
Egg Turner Duration Time	6 Time/day

จากการศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการฟักไข่อัตโนมัติ โดยผู้วิจัยใช้วิธีการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น และการกลับไข่ โดยการออกแบบเครื่องมือได้มีการแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ การทำงานภายในตู้ฟักไข่ และส่วนการควบคุมและแสดงค่าสถานะของตู้ฟักไข่ ในส่วนการทำงานภายในตู้ฟักไข่ โดยในทั้ง 2 ส่วนนั้นจะมีการสื่อสารผ่านการบันทึกข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม LabVIEW ในส่วนการประมวลผลใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เป็นส่วนในการอ่านค่าจากเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของเครื่องให้ความร้อนและความชื้น ภายในตู้ฟักไข่ และสามารถรับส่งข้อมูลสำหรับบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ ในส่วนในการอ่านค่าสภาพอากาศภายในตู้ฟักไข่ใช้เซนเซอร์ SHT20 ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ โดยการต่ออุปกรณ์เข้ากับขา (pin) ของบอร์ด Arduino UNO และในส่วนอุปกรณ์เอาต์พุต จะมีการปรับอุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่จะใช้เครื่องให้ความร้อนปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับขนาดของตู้ ในส่วนการให้ความชื้นด้วยเครื่องทำความชื้น และส่วนการปรับมุมการวางไข่ด้วยถาดกลับไข่ 45° จำนวน 6 ครั้งต่อวันหรือทุกๆ 4 ชั่วโมง แสดงรายละเอียดใน Figure 1

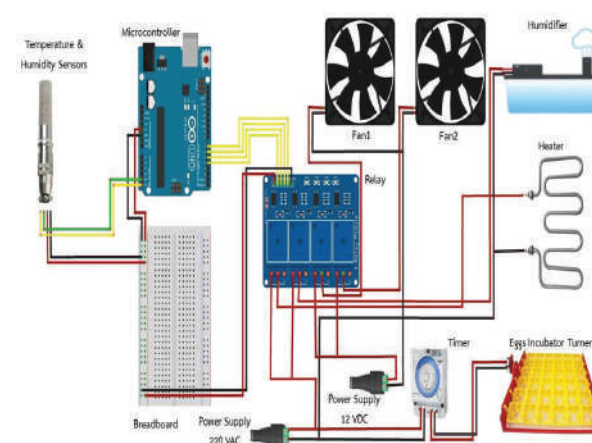


Figure 1 Diagram of wiring equipment control for automatic hatching machine for the bantam breed

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์

ระบบฟัซซีลอจิก (พยุ่ง มีสุจ, 2010) เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้งานกับระบบ เนื่องจากจะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและการคำนวณค่อนข้างน้อยเพราะใช้จำนวนพารามิเตอร์ในการสร้างฟังก์ชันต่างๆ ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ทางผู้วิจัยเห็นว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้การรวมข้อมูลในระดับสัญญาณโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการพัฒนาระบบควบคุมโดยมีการทำงานโดยรวมแสดงดัง Figure 2

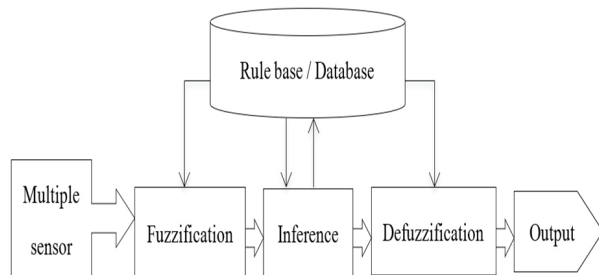


Figure 2 Fuzzy logic Inference control system

2.1 Fuzzification เป็นการแปลงสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์แต่ละตัวเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะที่เหมาะสมของแต่ละการอินพุตและความสำคัญต่อการเอาต์พุตที่น่าสนใจ โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญเพื่อใช้เป็นฟัซซีการอินพุตจากกระบวนการประมวลผลของขั้นตอนแรก สิ่งที่ต้องทำการออกแบบในโปรแกรม LabVIEW คือ การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละเซนเซอร์ให้สอดคล้องกับการการควบคุมตู้ฟักไข่ แสดงตัวอย่างดัง Figure 3

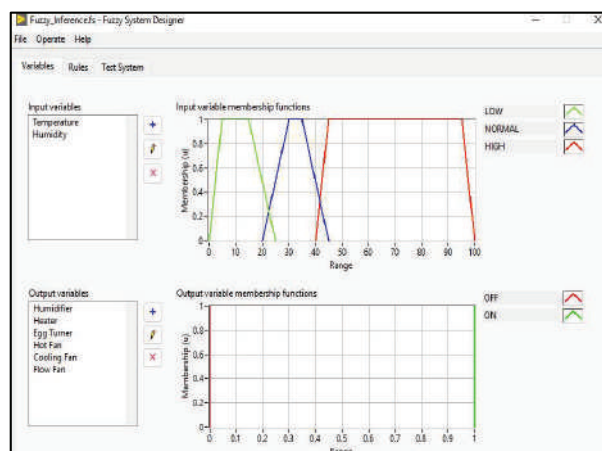


Figure 3 Fuzzification for input and output

2.2 Inference เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุต โดยอาศัยหลักการของการหาเหตุและผลหรือ If-Then Rule การคาดการณ์จากการตัดสินใจของฟัซซีลอจิก โดยผู้วิจัยเขียนเป็นกฎสำหรับการควบคุมระบบตู้ฟักไข่อัตโนมัติทั้งหมด 9 กฎ แสดงตัวอย่างดัง Figure 4

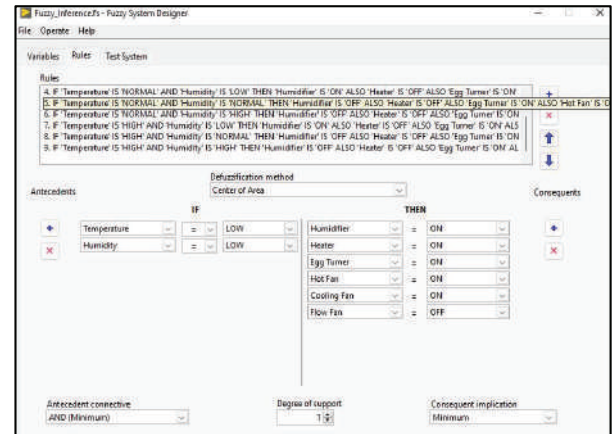


Figure 4 If-then rule for inference

การควบคุมจะมีอินพุต 2 ค่า คือ อุณหภูมิและความชื้น เชื่อมต่อกันด้วยตัวดำเนินการ AND ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตสำหรับ เปิดและปิดในการควบคุมภายในเครื่องฟักไข่ทั้งหมด 6 อุปกรณ์ โดยเงื่อนไขการตัดสินใจของฟัซซีลอจิกแสดงรายละเอียดใน Table 2

Table 2 Total role for automatic egg incubator control

I/O	Role								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
If									
Temperature	L	L	L	N	N	N	H	H	H
Humidity	L	N	H	L	N	H	N	H	L
Then									
Humidifier	/	x	x	/	x	x	x	x	/
Heater	/	/	/	x	x	x	x	x	x
Turner	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Hot fan	/	/	/	x	x	x	x	x	x
Cool fan	/	x	x	/	x	x	x	x	/
Outlet fan	x	x	/	x	x	/	/	/	/

* L = Low, N = Normal, H = High, / = On, x = Off

2.3 Defuzzification เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี่ โดยจะเปลี่ยนฟัซซี่เอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตาม ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Area) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจควบคุมตู้ฟักไข่ และทำการทดสอบการทำงานของระบบด้วยการป้อนค่าอินพุตเบื้องต้นสรุปได้ว่าการควบคุมเป็นไปตามการออกแบบแสดงดัง Figure 5

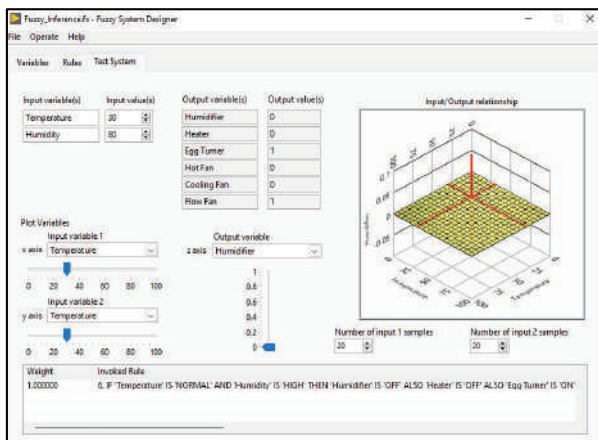


Figure 5 Defuzzification and validation of rule

จากการออกแบบทั้ง 3 ขั้นตอนหลักในโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้สะดวกต่อการติดตามและเก็บผลการทดสอบของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยทำการออกแบบ Graphics User Interface (GUI) มีรายละเอียดแสดงดัง Figure 6

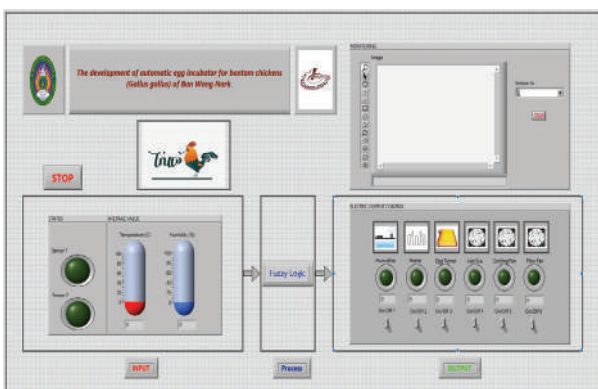


Figure 6 Graphics User Interface (GUI)

3. การออกแบบโครงสร้างเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ

จากการออกแบบอุปกรณ์ของระบบควบคุมทางวิศวกรรมและทางโปรแกรม LabVIEW ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของตู้ฟักไข่ซึ่งมีความสูงขนาด 120 เซนติเมตร ความกว้างขนาด 40 เซนติเมตร และความลึกขนาด 30 เซนติเมตร โดยรายละเอียดโครงสร้างหมายเลขที่ 1 ชุดอุปกรณ์ควบคุมหมายเลขที่ 2 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ หมายเลขที่ 3

ถาดไข่สำหรับฟักไข่ และหมายเลขที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมความชื้นภายในตู้ แสดงดัง Figure 7.



Figure 7 Automatic hatching machine

4. เก็บผลการทดลอง

การเก็บผลการทดลองจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมตู้ฟักไข่อัตโนมัติมีการทำงานตามเงื่อนไขที่ทำการออกแบบของผู้วิจัย ก่อนการเก็บบันทึกข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการคาลิเบรตค่าอุณหภูมิและความชื้นของเซนเซอร์ SHT20 ให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยทำการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ 4 วัน จำนวน 250 ชุดข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่อัตโนมัติ แสดงตัวอย่างดัง Figure 8



Figure 8 Experiment and data collection.

เมื่อทำการทดลองการทำงานของตู้ฟักไข่อัตโนมัติของผู้วิจัยมีความเรียบร้อยสมบูรณ์ จึงได้ทำการทดลองโดยนำไปฟักไข่ไก่แจ้ของกลุ่มพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาคนุ่มที่ 5 ตำบลกะหรอ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งทำการทดลองฟักไข่ไก่แจ้บ้านวังนาคนุ่มจำนวน 3 ครั้ง โดยในการฟักแต่ละครั้ง ทำการทดลองด้วยไข่ไก่แจ้จำนวน 30 ฟอง ทำการฟักชั้นละ 10 ฟอง จำนวน 3 ชั้น การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนาอัตราการตายและอัตราการฟักออกจากสมการที่ 1 ถึง 7

$$\text{ไข่มีเชื้อที่ 7 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่มีเชื้อ 7 วัน} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$\text{ไข่ไม่มีเชื้อที่ 7 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่ไม่มีเชื้อ 7 วัน} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (2)$$

$$\text{ไข่เชื้อตายที่ 7 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่เชื้อตาย 7 วัน} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (3)$$

$$\text{ไข่เชื้อตายที่ 18 วัน (\%)} = \frac{\text{ไข่เชื้อตายที่ 18 วัน} \times 100}{\text{ไข่มีเชื้อ 7 วัน}} \quad (4)$$

$$\text{ไข่ตายโคม (\%)} = \frac{\text{ไข่ตายโคม} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟัก 18 วัน}} \quad (5)$$

$$\text{การฟักออกจากไข่มีเชื้อ (\%)} = \frac{\text{ลูกไก่เกิด} \times 100}{\text{ไข่มีเชื้อ}} \quad (6)$$

$$\text{การฟักออกทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{ลูกไก่เกิด} \times 100}{\text{ไข่เข้าฟักทั้งหมด}} \quad (7)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการทดลองการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดของการออกแบบตู้ฟักไข่อัตโนมัติ จากการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ 4 วัน บันทึกทุกๆ 5 นาที/ชุดข้อมูล จำนวนทั้งหมด 250 ชุดข้อมูล เพื่อดูการควบคุมอุณหภูมิของตู้ฟักไข่อัตโนมัติ จะทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 37 °C และหยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในถึง 37 °C ในส่วนของเครื่องทำความชื้น จะทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60% และหยุดการทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในถึง 60% กรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 °C ชุดพัดลมระบายอากาศจะทำงาน และหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในต่ำกว่า 38 °C ดังนั้น จากการสุ่มบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้ง 9 กฎ โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบแสดงรายละเอียดใน Table 3

Table 3 Results of automatic egg incubator temperature and humidity control

Day	Time	Temperature (°C)	Humidity (%)
1	10.30-13.00	36.84	64.50
	13.30-17.00	36.85	63.28
2	10.30-13.00	36.86	62.73
	13.30-17.00	36.81	65.22
3	10.30-13.00	36.93	60.15
	13.30-17.00	36.83	76.87
4	11.30-15.20	36.91	63.37
Average		36.86	65.16

ผลการทดลองการทำงานของตู้ฟักไข่อัตโนมัติแสดงรายละเอียดใน Table 3 โดยทำการบันทึกการทำงานตามเงื่อนไขที่ได้ทำการออกแบบไว้ได้ 100% ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบมีค่าเท่ากับ 36.86 °C และ 65.16% ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Yadav *et al.*, 2021) อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 37-38 °C ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสมในส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่เหมาะสมในช่วง 60-80%

Table 4 Results of automatic egg incubator at Ban Wang Nak

Results	Average (%)
Fertilized eggs at 7 days	96.67
Eggs without fertilization at 7 days	3.33
Infectious eggs die at 7 days.	1.11
Infectious eggs die at 18 days	3.45
The egg spoiled while being incubated	1.11
Hatching from eggs is infected	95.44
Hatching eggs from all	92.22

จาก Table 4 เป็นผลการทดลองเพื่อดูค่าเปอร์เซ็นต์ที่สำคัญต่างๆ โดยค่าเฉลี่ยของ เปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อที่ 7 วัน เท่ากับ 96.67% เปอร์เซ็นต์ไข่ไม่มีเชื้อที่ 7 วัน เท่ากับ 3.33% ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการเตรียมไข่ก่อนฟักมีผลต่อเชื้อไข่นำมาฟัก ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไข่เชื้อตายที่ 7 วัน และ 18 วัน อยู่ที่ 1.11% และ 3.45% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ไข่ตายโคมค่อนข้างน้อย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.11% ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่มีเชื้อ 95.44% และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การฟักออกจากไข่เข้าฟักทั้งหมด 92.22% โดยภาพรวมจากผลการทดลองการทำงานของตู้ฟักไข่อัตโนมัติสามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนการขยายพันธุ์ไก่แจ้สวยงามบ้านวังนาค เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่แจ้ให้เพียงพอต่อความต้องการซื้อของกลุ่มคนที่นิยมไก่แจ้ รวมถึงการเพิ่มจำนวนรอบการฟักไข่ไก่แจ้ให้มากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การออกแบบการสร้างและพัฒนาตู้ฟักไข่ไก่อัตโนมัติ โดยตู้ฟักไข่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับการฟักไข่ ระบบควบคุมโดยบอร์ด Arduino UNO ในการประมวลผลและทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยใช้การตัดสินใจในการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุต

ต่างๆ ด้วยทฤษฎีของฟิชเชิลอจิก ตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบสามารถวางไข่ได้ 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นสามารถบรรจุได้ 30 ฟอง ทำงานตามเงื่อนไขที่ได้ทำการออกแบบไว้ได้ 100% ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบมีค่าเท่ากับ 36.86 °C และ 65.16% และเมื่อนำไปทดลองให้กับกลุ่มพัฒนา สายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาค หมู่ที่ 5 ตำบลกะหรอ อำเภอหนองปีทา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ลูกไก่แรกเกิดเท่ากับ 95.44% ซึ่งผลการทดลองเป็นที่พอใจของกลุ่มพัฒนาสายพันธุ์ไก่แจ้บ้านวังนาค เนื่องจากการช่วยเพิ่มปริมาณการฟักไข่ในแต่ละรอบให้กับผู้ประกอบการในชุมชนตามวัตถุประสงค์ อีกทั้งเครื่องมือขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปทำให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

การออกแบบควรใช้วัสดุที่ดีและมีคุณภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานให้มีอายุการใช้งานที่ยาวขึ้น และมีความคงทนแข็งแรง อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องทำการปิดกันไม่ให้สัมผัสกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้เพื่อหลีกเลี่ยงการชำรุดหรืออายุการใช้งานที่สั้นลง ในอนาคตการออกแบบระบบเครื่องฟักไข่ไก่อัจฉริยะอัตโนมัติให้มีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิมากขึ้นเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานที่ถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ทุกท่านและมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่สนับสนุนได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- ณปภัช ช่วยชูหนู, ประพจน์ มลิลย์ และจวีรธรณ จันทร์ทอง. (2563). การเพิ่มศักยภาพการขยายพันธุ์ไก่แจ้ไทย: ผลของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดของไก่แจ้ไทย. รายงานการวิจัย คณะเกษตรศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- นฤมล. (2018). ภูมิปัญญาท้องถิ่นและองค์ความรู้ของเกษตรกรในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 10(2), 27-30.
- พยุ่ง มีสัจ. (2010). ระบบฟักไข่และโครงข่ายประสาทเทียม. เอกสารคำสอนวิชา 701801 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Asma Luemasueni, L. S. and S. K. (2017). Research and Design an Incubator to Control the Temperature of the Egg Back Automatically, 2(1).

- Gayathri, R., Riyaz, N., Karthik, S. S., & Kumar, P. U. (2021). Compact Egg Incubator. *Ijrmets.Com*, 03, 1917-1920.
- Ikpeseni, S. C., Owebor, K., Owamah, H. I., Sada, S. O., Dibie, E. C., & Odeh, O. E. (2022). Design and Fabrication of a Local Solar-Powered Poultry Egg Incubator for a Low-Income Country. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. <https://doi.org/10.1007/s40031-021-00701-7>
- I. Sangole and P. Ardak. (2021). Investigation of Constant Temperature Keeping Process To Hatch Hen Egg in an Incubator Unit. *a Review*, 13(1), 6-10.
- Lumchanao, W., & Potprarinya, N. (2018). Development of Egg Incubator for Detecting Embryos in Chicken Eggs Using Digital Image Processing Techniques. *SWU Engineering Journal*, 13, 151-165.
- Natasa POPOVIC, B. P. (2021). A CONTROL SYSTEM FOR REMOTE MONITORING AND CONTROL OF THE TEMPERATURE IN CHICKEN EGGS. *Natasa POPOVIĆ * Božidar POPOVIĆ*, 6(2), 28-34.
- Poolwan, J., Sripan, B., & Kingthong, S. (2021). Development of automatic temperature and humidity control systems for eggs incubators with Internet of thing technology, 9(2), 225-236.
- Purwanti, S., Febriani, A., Mardeni, M., & Irawan, Y. (2021). Temperature Monitoring System for Egg Incubators Using Raspberry Pi3 Based on Internet of Things (IoT). *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(5). <https://doi.org/10.18196/jrc.25105>
- Tolentino, L. K. S., Justine Enrico, E. G., Listanco, R. L. M., Anthony Ramirez, M. M., Renon, T. L. U., & Rikko Samson, M. B. (2019). Development of Fertile Egg Detection and Incubation System Using Image Processing and Automatic Candling. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/ TENCON, 2018-Octob(October)*, 701-706
- Yadav, B. K., Pokhrel, N., Khatiwada, D., Khanal, M., Bajracharya, T., & Dhakal, R. (2021). Design, Fabrication, and Performance Analysis of an Automatic Horizontal Egg Incubator. *Journal of the Institute of Engineering*, 16(1), 77-85. <https://doi.org/10.3126/jie.v16i1.36557>