



Development of a Vertical Water Meal Cultivation Monitoring System using IoT Technology

Auckawut Kaewseekao¹, Sittichok Punpitak^{2*},

Chonlada Yodying³ & Kanyarat Banlusuk⁴

^{1,2,3*,4} Rajabhat Maha Sarakham University

*Corresponding author: sittichok.pu@rmu.ac.th

Received

11/03/2026

Reviewed

25/04/2026

Revised

28/04/2026

Accepted

29/04/2026

Abstract

The purposes of the research were 1) To study the vertical duckweed cultivation system using IoT technology for controlling and monitoring the growth results of Water Meal. 2) To study and develop an automatic cultivation control system via wireless sensors to increase duckweed production. and 3) Satisfaction questionnaire for testing the efficiency of the vertical duckweed cultivation system using IoT technology. By displaying various parameters that are factors in duckweed cultivation. The statistics used in the research were the mean, standard deviation, and t-test statistic. The research results found that ; 1) The results of the design and development of the vertical duckweed cultivation monitoring system using IoT technology found that it consists of three components : (1) Sensor (2) Node MCU and (3) IoT Cloud Platform which effectively displays the system's operation results via a wireless network according to the objective. 2) The study of the experimental results using the vertical duckweed cultivation monitoring system with IoT technology found that the results displayed were as follows : (1) Air Temperature and Relative Humidity the suitable temperature range is between 29 – 38 Co and The suitable relative humidity range is between 55 – 75 (%RH). (2) pH Value (Acidity-Alkalinity) the suitable pH range is between 6 – 7.5 pH. (3) Water Temperature the suitable temperature range is between 26 – 32 Co and (4) Light Intensity the light is opened continuously for 12 hours. The suitable light intensity range for duckweed is between 12,000 – 15,000 Lux. 3) The satisfaction questionnaire for testing the efficiency of the vertical duckweed cultivation system using IoT technology found that the overall user satisfaction with all aspects of the system was at the highest level (= 4.58, S.D.=0.55)

Keywords: Wolffia; Internet of Things; Vertical; Monitoring System; sensor



การพัฒนาระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT

อรรครุช แก้วสีขาว¹, สิทธิโชค พรรคพิทักษ์^{2*},

ชลดา ยอดยิ่ง³ และกัญญารัตน์ บรรลุสุข⁴

^{1,2*,3,4} มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

*ผู้นิพนธ์หลัก: sittichok.pu@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT มาใช้ในการควบคุมและติดตามผลการเจริญเติบโตของไข่น้ำ 2) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมการเลี้ยงแบบอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อเพิ่มผลผลิตของไข่น้ำ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT ด้วยการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นปัจจัยต่อการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) ส่วนตรวจวัด (Sensor) (2) ส่วนประมวลผล (Node MCU) และ (3) ส่วนแสดงผล/ควบคุม (IoT Cloud Platform) ที่แสดงผลการทำงานของระบบผ่านระบบเครือข่ายไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ ตามความต้องการต้องการของกลุ่มเกษตรกรเพาะเลี้ยงไข่น้ำ และ 2) ผลการทดลองใช้ระบบระบบติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า (1) ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 29 – 38 (°C) ความชื้นสัมพัทธ์ จะอยู่ช่วงระหว่าง 55 – 75(%RH) (2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 6-7.5 pH (3) ค่าอุณหภูมิในน้ำ ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 26 – 32 (°C) และ (4) ค่าความเข้มแสง เปิดติดต่อกัน จำนวน 12 ชม. ค่าความเหมาะสมกับไข่น้ำจะอยู่ช่วงระหว่าง 12,000 - 15,000 ลักส์ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบโดยรวมทุกด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด (= 4.58, S.D.=0.55)

คำสำคัญ: ไข่น้ำ; เทคโนโลยี IoT; แนวตั้ง; ระบบติดตาม; เซนเซอร์



บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา “ไชน้ำหรือไผ่” (Water meal) หรือ ไผ่ (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Wolffia globosa*) เป็นไม้อลอยน้ำที่ต้นประกอบด้วยเมล็ดสีเขียว เป็นพืชดอกที่เป็นไม้น้ำ ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด (Niyanut and Tangwongchai, 2010) ในประเทศไทยมีไชน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. และ *W. globosa* (L.) Wimm. สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยใช้เมล็ดและการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ พบมากในระหว่างฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อนบริเวณแหล่งน้ำนิ่ง โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทย และได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากนักวิจัยทั่วโลกและถูกขนานนามว่าเป็น "ซูเปอร์ฟู้ด (Superfood)" และ "อาหารแห่งอนาคต (Future Food)" เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการที่โดดเด่นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูง มีโปรตีนสูงถึง 40–45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน ซึ่งรวมถึง วิตามินบี 12 ที่มักไม่พบในพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยวิตามิน เช่น วิตามิน A, C, E, K และโฟเลต แร่ธาตุ เช่น เหล็ก, แคลเซียม และสารต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง เป็นพืชน้ำที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเป็นแหล่งอาหารชนิดใหม่ครบทุกประการซึ่ง (Panwanitdumrong & Raitai, 2009) รายงานว่าไชน้ำสามารถให้โปรตีนสูงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และมีเบต้าแคโรทีน ประมาณ 600 กรัม หรือ 100,000 ไมโครกรัม เมื่อไชน้ำอายุ 24 วัน ซึ่งคุณค่าทางอาหารของไชน้ำสอดคล้องกับการแก้ปัญหาภาวะทุพโภชนาการของประชากรในแต่ละประเทศ ได้แก่ โรคขาดโปรตีน โรคขาดวิตามินเอ และโรคที่เกิดจากการได้รับเยื่อใยอาหารต่ำ ประกอบกับการใช้ไชน้ำเป็นอาหารตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวเพชรบูรณ์และชาวอีสานมีเพียงแกงไชน้ำแบบพื้นบ้านอย่างเดียวนั่น คนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมนำมาทำอาหารโดยปรุงให้สุกก่อนรับประทาน มีแคลเซียม และเบต้าแคโรทีนสูง มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าปลา ไช้ เนื้อวัว และถั่วเหลือง (Termthanasombat, 2012) ซึ่งอาจไม่เป็นที่รู้จักและนิยมเอามารับประทาน ดังนั้นจึงทำให้การใช้ประโยชน์จากไชน้ำมาแปรรูปอาหารที่มีคุณค่าสูงเพื่อการบริโภคนั้นมีน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานการทดลองเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ และการทดแทนโปรตีนโดยใช้ไชน้ำในการทำข้าวเกรียบกุ้ง (Sujarit & Khamcharoen, 1999) เป็นต้น

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงไชน้ำเชิงธุรกิจและพาณิชย์เป็นที่แพร่หลาย เกษตรกรสวนใหญ่จะเลี้ยงในแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น บ่อดินหรือทอปูน ซึ่งจะควบคุมผลผลิต สารพิษและทำความสะอาดได้ยาก อีกทั้งสภาพอากาศและสภาวะแวดล้อมในปัจจุบันไม่ได้เอื้ออำนวยต่อการเพาะเลี้ยง ซึ่งสภาวะแวดล้อมที่สำคัญๆ เช่น แสง อุณหภูมิ น้ำ และสารอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของไชน้ำ ถ้าน้องค์ความรู้เชิงลึกทางด้านสรีรวิทยาของพืชและความต้องการปัจจัยแวดล้อมที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต มาสนับสนุนการทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เป็นระบบเครือข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ทำให้อุปกรณ์เหล่านั้นสามารถสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลทำงานรวมกันได้อย่างอัตโนมัติ โดยหลักการทำงานของ IoT แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ การเก็บข้อมูล (Data collection) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Collate and transfer data) และการวิเคราะห์ข้อมูลและสั่งการทำงาน (Analyze data and take action) ในการนำระบบ IoT มาใช้ในการเกษตรข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสง จะถูกเก็บจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่ เพื่อช่วยประมวลผลและตัดสินใจ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น โดยได้กำหนดขอบเขตของปัจจัยที่จำเป็นต่อการ



เจริญเติบโตของพืชอย่างละเอียด ครอบคลุมทั้งด้านแสงสว่าง อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ สูตรปุ๋ยธาตุอาหารที่แม่นยำ สอดคล้องงานวิจัยของ (Sermphol et al., 2017) เรื่อง ระบบเกษตร แนวตั้งควบคุมผ่าน แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน พบว่า ระบบสามารถควบคุมการรดน้ำและการให้อาหารพืชได้ และงานวิจัยของ (Jantabut et al., 2024) เรื่องการพัฒนากระบวนการควบคุมสภาวะแวดล้อม โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ในโรงเรือนเพาะเลี้ยงกบนา พบว่า ระบบใหม่มีประสิทธิภาพมากกว่าในด้าน การเปลี่ยนถ่ายน้ำอัตโนมัติ ใช้แรงงานคน และใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยกว่าระบบดั้งเดิม

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยและออกแบบ มีวิธีการดำเนินงานและการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอนจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ

1.1 อาหารเพาะเลี้ยงไข่น้ำ ปุ๋ยเคมี N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร คุณสมบัติของน้ำ เลี้ยงที่เหมาะสมคือ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5-6 และมีค่าความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเลี้ยงมีค่า 5,000-10,000 ลักซ์ และต้นไข่น้ำ มีอายุการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ 15 วัน เมื่อทดลองเลี้ยงไข่น้ำ เป็นเวลา 30 วัน สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำได้ประมาณ 2 กิโลกรัม/น้ำหนักเปียก/ตารางเมตร และตรวจวัดปริมาณเบต้าแคโรทีนในไข่น้ำ ที่เลี้ยง 24 วัน พบเฉลี่ย 600 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปุ๋ย AB ปุ๋ย AB เป็นปุ๋ยเคมีในการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์มีแร่ธาตุผสมกับน้ำ ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายดิน ดังนั้นปุ๋ย AB จึงไม่มีสารเคมีที่เป็นพิษและไม่เป็นอันตรายใด ๆ ต่อสิ่งมีชีวิต เรียกได้ว่า เป็นผักปลอดสารพิษ โดยข้อดีในการใช้ปุ๋ย AB คือ ประหยัด ใช้ในปริมาณน้อย มีธาตุอาหารครบถ้วน ไม่มีสารเคมีที่เป็นพิษ ช่วยให้พืชเติบโตได้ดี ปุ๋ยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงคือ จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติทั้งในดินและน้ำ ทำหน้าที่กำจัดของเสีย ก๊าซและสารพิษต่าง ๆ

1.2 ระบบในการเพาะเลี้ยงแบบไฮโดรโปนิคส์ การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic) เป็นการปลูกพืชแบบหนึ่งที่ยอดนิยมในปัจจุบันเนื่องจากการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์นั้นจะเป็นการปลูกพืชแบบไร้ดินทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปลูกพืชแบบทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น สภาพดินปลูกที่ไม่เหมาะสม สภาพอากาศแปรปรวน รวมไปถึงขนาดของพื้นที่ในการปลูก เป็นต้น ซึ่งการควบคุมปัจจัยทางสภาพแวดล้อมได้อย่างถูกต้องและแม่นยำจะส่งผลให้พืชมีผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพสูงขึ้น ข้อดีสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน คือ เกษตรกรสามารถปลูกพืชในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ซึ่งสามารถปลูกพืชได้ตลอดปี สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินปลูกและลดภาระในการกำจัดวัชพืช นอกจากนี้พืชจะเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตที่มากกว่าการปลูกแบบธรรมดา

1.3 การสังเคราะห์แสง ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้หลอดไฟแบบ LED (Light Emission Diode) ในการสังเคราะห์แสงของพืช แสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะจึงจะทำให้พืชหลายๆ ชนิดมีความเจริญเติบโตได้ดีกว่า และแข็งแรงกว่า เมื่อเทียบกับพืชที่ปลูกในระบบแสงทั่วไป ต้องการให้พืชมีการ



เจริญเติบโตปกติในสภาพที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ เช่น การปลูกพืชในหน้าหนาว หรือสามารถใช้เพิ่มช่วงเวลาให้กับพืชที่ต้องการแสงเป็น เวลานานกว่าปกติเพื่อกระตุ้นการออกดอก นอกจากนี้หลอด LED ยังมีข้อดีกว่าหลอดไฟชนิดอื่นๆ คือใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ปล่อยความร้อนน้อย ส่งผลให้สามารถเปิดได้ตลอด 24 ชั่วโมง ช่วยลดมลพิษเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดชนิดอื่น เนื่องจากไม่มีรังสี UV ไม่มี ก๊าซพิษ หรือโลหะหนักในการบรรจุ ฉะนั้นไข่น้ำต้องการแสงแดดในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต ช่วงความเข้มแสงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4,000-15,000 ลักซ์ (lux) บางงานวิจัยระบุว่า 12,000-15,000 ลักซ์ หรืออาจสูงถึง 16,000 ลักซ์ ซึ่งสอดคล้องกับ (Punpitak et al., 2024) การเพาะเลี้ยงด้วยการเปิดแสงไฟจากหลอด LED ที่มีความเข้มแสงระหว่าง 9,000 - 12,000 ลักซ์ นาน 24 ชั่วโมง มีผลทำให้ปริมาณน้ำหนักของไข่น้ำสดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ความเข้มแสงที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดภาวะยับยั้งการสังเคราะห์แสงได้หากเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง แนะนำให้ใช้ซาแรนพรางแสงประมาณ 70% เพื่อควบคุมปริมาณแสง

1.4 อุณหภูมิในน้ำ ไข่น้ำชอบอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 25-32 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป โดยเฉพาะในช่วงน้ำร้อนและหน้าหนาว จะส่งผลให้ปริมาณและอัตราการขยายตัวลดน้อยลง ซึ่งในการทดลองในครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการแบบปิด เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมแบบปิด เพื่อให้อุณหภูมิน้ำเลี้ยงไข่น้ำอยู่ในสภาพที่เหมาะสม >30 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส

1.5 คุณภาพน้ำเพาะเลี้ยงควรเป็นน้ำสะอาดเพราะเป็นสิ่งสำคัญในการเพาะเลี้ยงควรกรองน้ำสะอาดใส่ถังหรือบ่อที่ใช้เลี้ยงหากใช้น้ำประปาหรือน้ำบาดาล แนะนำให้พักน้ำไว้ 2-3 วันก่อนปล่อยไข่น้ำลงไป ค่า pH ของน้ำช่วงที่เหมาะสมคือประมาณ 6.0 ถึง 7.5 (บางแหล่งระบุช่วงกว้าง 4.5 ถึง 7.5 หรือ 6.0 ถึง 8.0)

1.6 ความลึกของระดับน้ำเพาะเลี้ยง ควรมีระดับความลึกของน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงไข่น้ำประมาณ 20-30 เซนติเมตร โดยวัดจากก้นบ่อขึ้นมา ประมาณ 20-30 เซนติเมตร ถ้าระดับน้ำที่ตื้นเกินไป (เช่น น้อยกว่า 10 เซนติเมตร) จะทำให้ อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงรวดเร็วตามอุณหภูมิภายนอก โดยเฉพาะเมื่ออากาศร้อนจัดอาจทำให้น้ำร้อนเกินไป (สูงกว่า 35 °C) จนไข่น้ำเสียหายหรือตายได้ระดับน้ำที่เหมาะสม (เช่น 15 ถึง 30 เซนติเมตร) จะทำหน้าที่เป็นเหมือนบัฟเฟอร์ (Buffer) ช่วยให้อุณหภูมิในบ่อมีความเสถียร และลดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเอื้อต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำมากกว่าเป็นแหล่งสะสมสารอาหาร (Nutrient Reservoir) น้ำที่ลึกลงสมควรจะช่วยให้มีปริมาณน้ำที่เพียงพอในการละลายและกักเก็บสารอาหาร (เช่น ปุ๋ย, มูลสัตว์, สารละลายธาตุอาหารพืช) ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ไข่น้ำสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างต่อเนื่องการจัดการผลผลิต (Yield Management): การใช้ความลึกที่เหมาะสม (เช่น 15-20 หรือ 20-30 เซนติเมตร สำหรับบ่อขนาดเล็ก) จะทำให้การดูแลจัดการ การเติมน้ำและการเก็บเกี่ยวผลผลิตทำได้ง่ายและสะดวก

1.7 การเคลื่อนไหวน้ำของน้ำ ไข่น้ำมักจะเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำนิ่ง หรือมีการเคลื่อนไหวน้ำของน้ำบ้างน้อย เช่น การเติมออกซิเจนในน้ำ การใช้ปั๊มน้ำ เป็นต้น เพื่อต้องการให้ ไข่น้ำที่อยู่ด้านใต้ได้กลับตัวขึ้นมา เพื่อรับแสงแดดและออกซิเจน



1.8 ความหนาแน่นของโซลิดเริ่มต้น ช่วงอัตราการปล่อยโซลิดเริ่มต้นก็มีผลต่อการขยายตัว โดยมีงานวิจัยที่ใช้ประมาณ 100 กรัม/ตารางเมตรชุดเซ็นเซอร์ต่างๆเช่น เซอร์วิตค่าพีเอช (pH sensor) เป็นเครื่องมือจะวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองตรวจจับทางเคมีไฟฟ้า ที่ใช้วัดระดับ ความเป็นกรด (Acidic) หรือ ความเป็นด่าง/เบส (Alkaline) ของสารละลาย โดยวัดจากความเข้มข้นของไอออนไฮโดรเจน (H+) ในสารละลายนั้น ๆ ค่าที่วัดได้จะแสดงออกมาเป็น ค่า pH ซึ่งมีสเกลตั้งแต่ 0 ถึง 14 รับสัญญาณไฟฟ้าในหน่วยมิลลิโวลต์ แล้วแปลงค่าทางไฟฟ้าเหล่านั้นเป็น ค่า pH ตามสมการทางทฤษฎีและแสดงผลออกมาบนหน้าจอเซ็นเซอร์วัดค่าทีดีเอส (TDS sensor) (Total Dissolved Solids Sensor) คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเข้มข้นรวมของของแข็งที่ละลายทั้งหมดในน้ำหรือสารละลาย ค่า TDS เป็นตัวชี้วัดสำคัญของคุณภาพน้ำ โดยจะแสดงถึงปริมาณรวมของสารอินทรีย์ อนินทรีย์ แร่ธาตุ เกลือ หรือโลหะที่แตกตัวเป็นไอออนอยู่ในน้ำ โดยปกติแล้วจะแสดงผลในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm – parts per million) หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) (โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 มักใช้ 0.5-0.7) เพื่อแปลงค่า ECเป็นค่า TDS ในหน่วย ppm) ดังนั้นเซ็นเซอร์วัดค่าทีดีเอสด้วยการนำไฟฟ้าของน้ำเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำออกมาเป็นสัญญาณแอนาล็อก เพื่อส่งค่าเข้า Arduino ได้ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำ (Water Temperature Sensor) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับและวัดอุณหภูมิของน้ำหรือของเหลว โดยแปลงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า (เช่น ค่าความต้านทาน, ค่าความต่างศักย์) เพื่อให้สามารถอ่านค่าและควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำเซ็นเซอร์เหล่านี้มักอยู่ในรูปแบบของโพรบ (Probe) ที่มีตัวตรวจจับบรรจุอยู่ในวัสดุป้องกัน เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เพื่อให้สามารถจุ่มลงในน้ำได้โดยไม่เสียหายและป้องกันการกัดกร่อนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature Sensor) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับและวัดอุณหภูมิของอากาศหรือก๊าซ โดยแปลงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถอ่านค่าและนำไปใช้งานได้ เซ็นเซอร์เหล่านี้มักถูกออกแบบมาให้มีการสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง หรือมีวัสดุหุ้มที่บางและระบายความร้อนได้ดี เพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ในการเกษตรหรือที่เรียกว่า เกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) คือ การนำเทคโนโลยีที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมาใช้ในการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ และควบคุมการเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และยกระดับคุณภาพผลผลิต เป็นการเปลี่ยนจากการทำเกษตรแบบดั้งเดิมไปสู่เกษตรแม่นยำสูง (Precision Farming) โดยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าที่สุด

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกเอาเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้กับชุดเพาะเลี้ยงไข่น้ำแบบแนวตั้ง โดยมีการผสมผสานพัฒนาและออกแบบให้เป็นระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT เนื่องจากมีข้อดี คือ การเชื่อมต่อและการสื่อสารกับอุปกรณ์ไฟฟ้า โมดูลเซ็นเซอร์ต่างๆ ช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์และโมดูลเซ็นเซอร์สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยในการบริหารจัดการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแบบธรรมา ให้สามารถทำงานได้อย่างดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ เทคโนโลยี IoT ยังช่วยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและการตัดสินใจได้อย่างถูกต้องมากขึ้นด้วยข้อมูลที่มีความแม่นยำสูง



วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามรูปแบบของกิจกรรมและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และผลการวิจัย โดยมีกิจกรรมและขั้นตอน ดังนี้ 1) เครื่องมือในการศึกษาวิจัย 2) ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 3) การพัฒนาระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT

4.1 เครื่องมือในการศึกษาวิจัย

4.1.1 เครื่องมือการวิจัยระบุเครื่องมือและคุณภาพของเครื่องมือวิจัยที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิจัย เช่น

4.1.1.1 ระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT

4.1.1.2 แบบบันทึกการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

4.1.1.3 แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามความพึงพอใจ ซึ่งแบบสัมภาษณ์ มีมาตราส่วน 5 ระดับและมีค่าความเชื่อมั่น 0.892 และแบบสอบถามความพึงพอใจ มาตราส่วน 5 ระดับ

4.1.2 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ กลุ่มเกษตรกร บ้านเขาใหญ่ ตำบลเขาใหญ่ อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

4.1.3 กลุ่มเป้าหมาย

4.1.3.1 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นตัวแทนของกลุ่มเกษตรกร ที่เข้ารับการอบรมการพัฒนาการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT สุ่มชนเกษตร ดิจิทัล บ้านเขาใหญ่ ตำบลเขาใหญ่ อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 20 คน คัดเลือก ด้วยวิธีแบบเจาะจง โดยเป็นกลุ่มเกษตรกรที่เพาะเลี้ยงไขน้ำในพื้นที่ และในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ เครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อระบบการเพาะเลี้ยง ไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT ที่พัฒนาขึ้น โดยแบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยคำถามแบบปลายเปิดและปลายปิด ครอบคลุมเนื้อหาในด้านปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ปัจจัยด้านสังคม เกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT ระดับ ความคิดเห็นของเกษตรกรการเพาะเลี้ยงไขน้ำที่มีต่อการผลิตไขน้ำและความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาและ ข้อเสนอแนะของเกษตรกรในการผลิตไขน้ำ โดยได้รับการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านโดยข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป จากนั้นนำไปใช้ทดสอบ (Try Out) กับ เกษตรกรกลุ่มเกษตรกรบ้านเขาใหญ่ ซึ่งไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อทดสอบหาค่าความ เชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสัมภาษณ์ ด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแบบแอลฟา (Alpha Coefficient) ของครอนบาค (Cronbach) (บุญธรรม, 2549) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.892 แสดงว่า แบบสัมภาษณ์มีความเชื่อมั่นสูง การแปลความหมายค่าเฉลี่ยของคะแนนความคิดเห็นของเกษตรกร ต่อการผลิตไขน้ำ แบ่งเป็น 5 ระดับตามมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท (Rating Scale Likert) (บุญ ธรรม, 2549) ได้แก่ เห็นด้วยน้อยที่สุด เห็นด้วยน้อย เห็นด้วยปานกลาง เห็นด้วยมาก และเห็นด้วยมาก ที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

4.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.2.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT

4.2.2 วิเคราะห์ระบบและออกแบบองค์ประกอบของระบบตามแนวคิดเทคโนโลยี IoT หรือ Internet of Things (อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง) ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ต่างๆ และการเชื่อมต่อกับเครือข่ายมีสายและไร้สาย ซึ่งวัตถุประสงค์ของเหล่านี้สามารถเก็บบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ อีกทั้งยังสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมและถูกควบคุมได้จากระยะไกล ผ่านโครงสร้างพื้นฐานการเชื่อมต่อเข้ากับสมาร์ทโฟนและยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทุกอย่างที่ถูกออกแบบมาให้เชื่อมโยงกันได้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้อุปกรณ์ทุกอย่างสามารถสื่อสารติดต่อกันได้ ภาพที่ 1

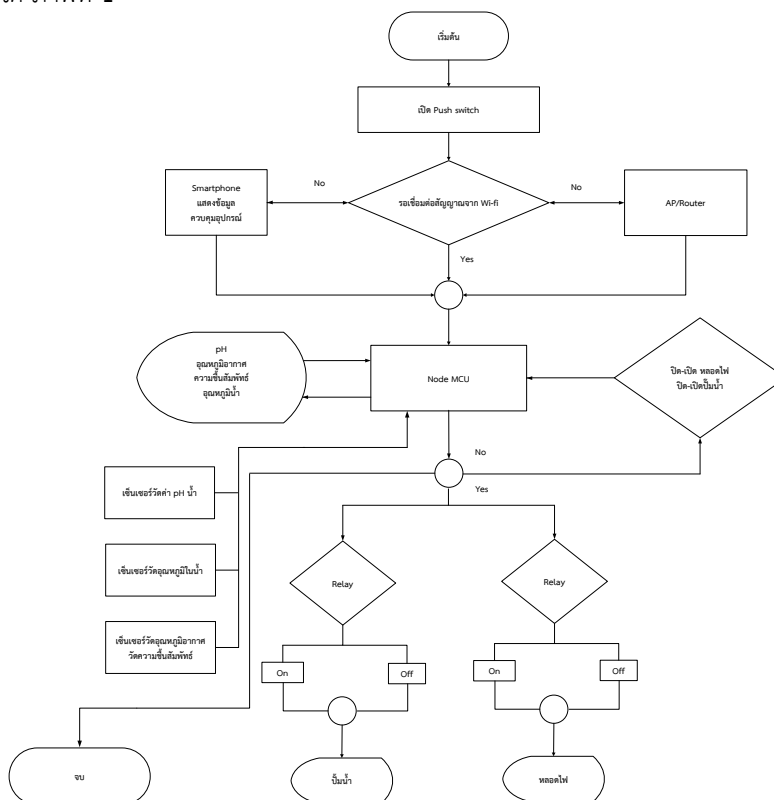


Figure 1 Flowchart of an IoT-Based Vertical *Wolffia* Cultivation Monitoring System.

4.2.3 การพัฒนาระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT

ระบบนี้ทำงานโดยการเชื่อมโยงส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนเข้าด้วยกัน คือ 1) ส่วนตรวจวัด (Sensor) 2) ส่วนประมวลผล (NodeMCU) และ 3) ส่วนแสดงผล/ควบคุม (IoT Cloud Platform) รายละเอียด ดังนี้ ส่วนตรวจวัดข้อมูล (Sensors) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่จำเป็นต่อการ



เจริญเติบโตของใช้น้ำ โดยจะแปลงค่าทางกายภาพ/เคมีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ NodeMCU อ่านได้ โดยมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำ (DS18B20) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงใช้น้ำ และค่ากรด-ด่าง (pH Sensor Module) วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการดูดซึมสารอาหารของใช้น้ำ และอุณหภูมิสภาพแวดล้อม (DHT11) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงใช้น้ำส่วนประมวลผลและเชื่อมต่อ (NodeMCU ESP8266) NodeMCU คือ หัวใจหลักของระบบ ทำหน้าที่จัดการข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต มีการรับข้อมูล รับสัญญาณไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ทุกตัว (ในส่วนของ 1) และทำการประมวลผล แปลงค่าสัญญาณ การเชื่อมต่อกับเทคโนโลยี IoT โดยชิป ESP8266 ที่มีความสามารถ Wi-Fi ในตัวจะทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่กำหนดไว้ และการส่งข้อมูลขึ้น Cloud ข้อมูลที่ประมวลผลแล้วจะถูกส่งขึ้นไปยังแพลตฟอร์ม (Blynk Cloud) เพื่อจัดเก็บและแสดงผลแบบ Real-Time ส่วนแสดงผล ควบคุม และแจ้งเตือน (IoT Cloud & Actuators) เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถโต้ตอบกับระบบได้ การแสดงผล โดยผู้ใช้งานสามารถดูค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้อุณหภูมิในน้ำ, อากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ค่า pH,) ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนหรือเว็บไซต์ (Blynk Cloud) และระบบยังสามารถควบคุมหรือสั่งการระยะไกลแบบอัตโนมัติ (Actuators): NodeMCU อาจส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อม ควบคุมปั้มน้ำ ปิด-เปิดหลอดไฟได้ตามรายละเอียดของ ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 2

Table 1 Functions of the Main System Modules.

System Module	Function(s) of the Component	Devices
Sensing Component (Sensor)	- Receives temperature, relative humidity, and soil moisture values.	- Water Temperature Sensor - Air Temperature and Relative Humidity Sensor - pH Sensor
Processing Component (NodeMCU)	- Converts values received from the sensors. - Controls various input and output operations. - processing	- NodeMCU - Blynk Application
Display/Control Component (IoT Cloud Platform)	- Operates according to the control program. - Displays and controls measured environmental conditions.	- LED - Relay - Control Valve

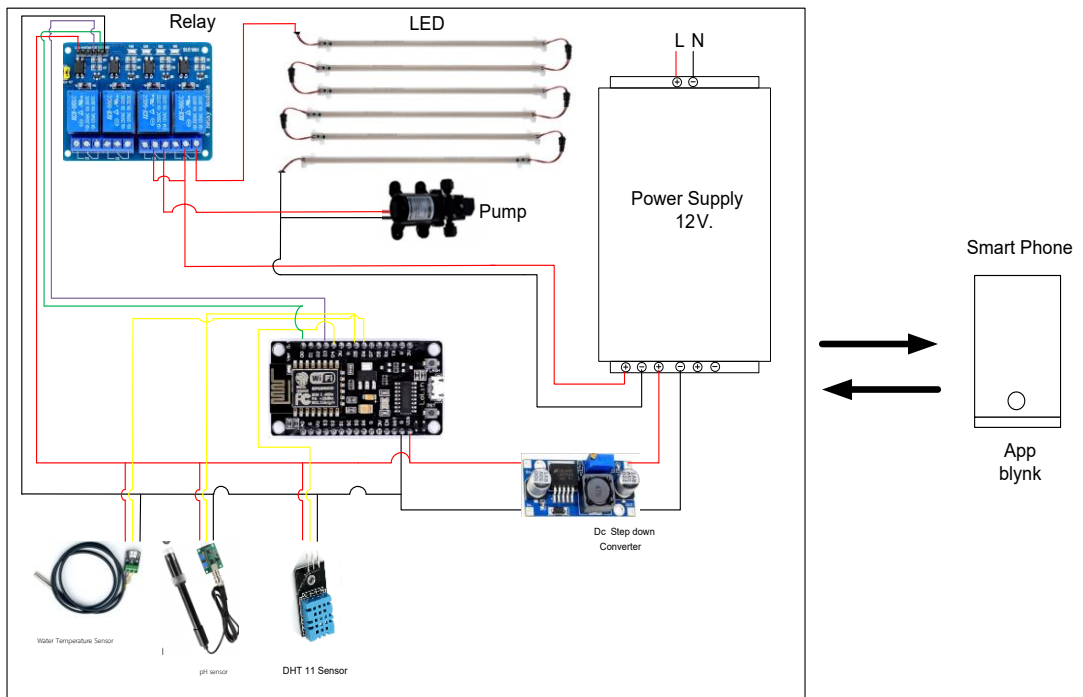


Figure 2 System Architecture Design.

5. วิธีการทดลอง

การทดลองประสิทธิภาพระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) โดยทำการติดตั้งระบบควบคุมการแบบอัตโนมัติผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยมีการทดลองการทำงาน เพื่อทดสอบและเก็บข้อมูล ทำทดลองซ้ำทั้งหมด 21 ครั้ง ทำการเก็บข้อมูลตลอด 7 วัน และเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่ 1 เวลา 7.00-09.00 น. ช่วงที่ 2 เวลา 11.00-13.00 น. และช่วงที่ 3 เวลา 16.00-18.00 น. เพื่อเก็บ 1) ค่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายนอก ($^{\circ}\text{C}$) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) 2) ค่าอุณหภูมิในน้ำ (%RH) และ 3) ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพื่อทดสอบการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และส่งข้อมูลมาเก็บไว้ยังชุดเก็บข้อมูล จากนั้นนำมาหาค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละครั้ง

6. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าสถิติ (Dependent t-test) (ทักษิณา, 2558) โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า ระดับความพึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า ระดับความพึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า ระดับความพึงพอใจน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01 – 1.50 หมายความว่า ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT มาใช้ในการควบคุมและติดตามผลการเจริญเติบโตของไข่น้ำ โดยมีผลการประเมินว่า ระบบนี้สามารถทำงานโดยการเชื่อมโยงส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนเข้าด้วยกัน คือ 1) ส่วนตรวจวัด (Sensor) 2) ส่วนประมวลผล (Node MCU) และ 3) ส่วนแสดงผล/ควบคุม (IoT Cloud Platform) ซึ่งสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมปรับให้เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงไข่น้ำได้เป็นอย่างดี มีการพัฒนาชุดควบคุมที่จำเป็นต่อการทำการเกษตรแม่นยำ ข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิอากาศและในน้ำ ความชื้นความสัมพันธ์ และการควบคุมเวลาการปิด-เปิดแสงไฟ จะถูกเก็บจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่เพาะเลี้ยงและยังสามารถช่วยในการประมวลผลและตัดสินใจ สามารถวิเคราะห์ผ่านการรายงานผลแบบ Real – Time (Blynk Cloud) เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการผลิตได้อีกด้วย **ตารางที่ 2**

Table 2 Evaluation Results of the IoT-Based Vertical *Wolffia* Cultivation System for Controlling and Monitoring *Wolffia* Growth

(n=20)

Results List	Mean	SD.	Level of Opinion
1. System and Application Installation	4.77	0.43	Highest
2. Setting Usernames and Passwords for System Login Verification	4.60	0.55	Highest
3. User Interface Design: Visual Clarity and Ease of Understanding	4.40	0.55	High
4. Speed in Processing and Command Execution	4.40	0.55	High
5. Accuracy in Command Execution	4.83	0.37	Highest
6. Convenience and Comfort in System Usage	4.40	0.55	High
7. Overall System Operating Stability	4.60	0.55	Highest
8. Overall System Functionality	4.03	0.85	High
Overall	4.50	0.55	High

จาก **ตารางที่ 2** ผลการประเมินระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT มาใช้ในการควบคุมและติดตามผลการเจริญเติบโตของไข่น้ำ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก

($\bar{X} = 4.50$, S.D.=0.55)

2. ผลการพัฒนาระบบควบคุมการเลี้ยงแบบอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตของไข่น้ำ พบว่า ระบบสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยระบบสามารถตั้งเวลาการทำงานในการบริหารจัดการ ปิด-เปิด แสงไฟ ปิด-เปิด ปั๊มน้ำ และระบบแสดงผลแบบ Real time monitoring เพื่อให้



สามารถเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเป็นกรด – ด่างและค่าอุณหภูมิในน้ำ มาแสดงในรูปแบบของภาพกราฟิกบนหน้าจออุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ (ภาพที่ 3) และ (ภาพที่ 4)



Figure 3 Displaying Results in Real-Time using the Blynk Application.



Figure 4 Development of an IoT-Based Vertical Wolffia Cultivation Monitoring System.

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ระบบเฝ้าติดตามการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT สามารถกำหนดฟังก์ชันการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ผ่านหน้าจอของอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ โดยมีระบบแสดงการทำงาน แบบอัตโนมัติและแบบแมนนวล (Manual) พร้อมทั้งระบบแจ้งเตือนสถานะการทำงานของระบบอีกด้วย โดยผลการทดสอบสามารถรายงานผล ค่าอุณหภูมิในน้ำ ตั้งแต่ 0 – 100 (°C) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0 – 100 (%RH) และค่าอุณหภูมิอากาศรอบๆ ตั้งแต่ 0-100 (°C) และค่าความเป็นกรด-ด่าง กราฟแสดงผลแบบ Real time monitoring สามารถบันทึกข้อมูลได้ตั้งแต่ 15 นาที 30 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และจนถึง 1 ปี ย้อนหลังได้ปี และส่งข้อมูลรายงานผ่านระบบเครือข่ายไร้สายอย่างทันทีทั้งที่ และค่าที่ได้จากการทดสอบ ดังนี้ 1) ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 100 (°C) ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 29 – 38 (°C) กับช่วงระหว่าง 55 – 75(%RH) และ 2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 10 pH ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 6-7.5 pH และ 3) ค่าอุณหภูมิในน้ำ สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 100 (°C) ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 26 – 32 (°C) และ 4)ค่าความเข้มแสง สามารถวัดได้โดยมีความเข้มแสงอยู่ในช่วงระหว่าง 9,000 – 22,000 ลักส์ ปิดติดต่อกัน จำนวน 12 ชม. ค่าความเหมาะสมกับไขน้ำจะอยู่ช่วงระหว่าง 12,000 – 15,000 ลักส์ ส่วนค่าความเข้มแสงทางผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์วัดค่าแสง (Digital LUX Meter) รุ่น LX1010B เป็นตัววัดค่าแสงจากหลอดไฟ (ภาพที่ 5)

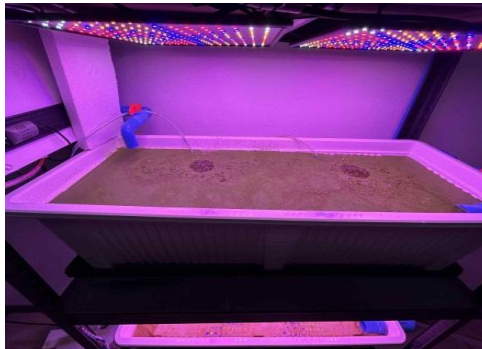


Figure 5 Experimental Wolffia Cultivation Using the Developed IoT-Based Vertical Wolffia Monitoring System.

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อระบบการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นตัวแทนของกลุ่มเกษตรกรที่เข้ารับการอบรมการพัฒนาแบบติดตามการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT สุ่มชนเกษตรกรดิจิทัล บ้านเขาใหญ่ ตำบลเขาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 20 คน คัดเลือกด้วยวิธีแบบเจาะจง โดยเป็นกลุ่มเกษตรกรที่เพาะเลี้ยงไขน้ำในพื้นที่ และในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อระบบการเพาะเลี้ยงไขน้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT ที่พัฒนาขึ้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของเกษตรกรจะแสดงใน ตารางที่ 4



3.1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร เกี่ยวกับ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้จากภาคการเกษตรและขนาดพื้นที่ทำการเกษตร ดังนี้ เพศ เกษตรกรตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 75.0 เพศชาย จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 25.0 อายุ พบว่า เกษตรกรตัวอย่าง มีอายุเฉลี่ย 41-61 ปี คิดเป็นร้อยละ 60.0 อยู่ในช่วงระดับการศึกษามัธยมศึกษา ม.3/ปวช. จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 60.0 สมาชิกในครัวเรือน พบว่า มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 1-4 คนต่อครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 60.0 และมีขนาดพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เฉลี่ย 5-10 ไร่ต่อครอบครัว คิดเป็นร้อยละ 65.0 มีแรงงานด้านการเกษตรในครัวเรือนเฉลี่ย 1.40 คน ทั้งนี้ อาชีพหลักคือเกษตรกรรม รองลงมาคือปศุสัตว์ โดยมีรายได้จากการทำเกษตรกรรมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 100,001-150,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65.0 รายได้จากการทำปศุสัตว์ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 15,000-25,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65.0 และรายได้จากการเกษตรกรรมอื่น ๆ เฉลี่ย 10,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 80.0 และตัวแทนกลุ่มเกษตรกรที่เข้าร่วมการฝึกอบรมเรื่องการพัฒนาแบบติดตามตรวจสอบด้วยเทคโนโลยี IoT สำหรับการเพาะเลี้ยงงูล์ฟเพีย (ไข่น้ำ) ในแนวตั้ง เพื่อมุ่งสู่ชุมชนเกษตรดิจิทัล (ภาพที่ 6)

3.2 ความคิดเห็นของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงไข่น้ำที่มีต่อการผลิตไข่น้ำในบ้านเขาใหญ่ ตำบลเขาใหญ่ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดมหาสารคาม พบว่า เกษตรกรมีความคิดเห็นต่อการผลิตไข่น้ำในภาพรวมทั้ง 4 ด้าน โดยความคิดเห็นในด้านปัญหาและความต้องการ (ค่าเฉลี่ย 4.77) มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ ด้านการตลาดและรายได้ในการผลิตไข่น้ำ (ค่าเฉลี่ย 4.60) และด้านอาหารสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (ค่าเฉลี่ย 4.40) และลำดับสุดท้าย คือ ด้านกระบวนการผลิตและต้นทุนการผลิตไข่น้ำ (ค่าเฉลี่ย 4.32) ตามลำดับ ใน ตารางที่ 3

Table 3 Farmers' Opinions on *Wolffia* Production.

(n=20)

รายการ	Mean	SD.	Level
1. Problem and need identification.	4.77	0.43	Highest
2. Aspects of <i>Wolffia</i> Production Process and Production Cost.	4.32	0.43	Highest
3. Aspects of Marketing and Revenue in <i>Wolffia</i> Production.	4.60	0.55	Highest
4. Opinions on Health Food and Environmental Aspects.	4.40	0.55	Highest
Overall	4.52	0.49	Highest

Remarks; 1.00-1.80 = Lowest, 1.81-2.60 = Low, 2.61-3.40 = Moderate, 3.41-4.20 = High, 4.21-5.00 = Highest

**Table 4** User Satisfaction towards the IoT-Based Vertical Wolffia Cultivation System.

(n=20)

Item	Mean	SD.	Level of Satisfaction
1. Ease of Use			
1.1 System access is easy, convenient, and fast	4.43	0.81	High
1.2 Data and graph display	4.57	0.50	Highest
1.3 Speed in processing and displaying results	4.63	0.49	High
1.4 Overall system operating stability	4.47	0.57	High
Average	4.53	0.59	Highest
2. Practical Utility (or Benefits for Use)			
2.1 Appropriateness of the size and appearance of the equipment	4.60	0.56	Highest
2.2 Functionality of sensors and various equipment	4.53	0.51	Highest
2.3 The system can report various parameters to farmers for subsequent management planning	4.77	0.43	Highest
Average	4.63	0.50	Highest
Overall	4.58	0.55	Highest

จาก ตารางที่ 4 พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (= 4.58, S.D.=0.55) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า การทำงานของ เซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ในระดับมากที่สุด (=4.53, S.D.=0.51) และด้านต่อมา คือ ความเหมาะสมของขนาดและลักษณะของอุปกรณ์ อยู่ในระดับมากที่สุด (=4.60, S.D.=0.56) และด้านสุดท้าย คือ ระบบสามารถรายงานค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แก่เกษตรกร เพื่อง่ายต่อการวางแผนการบริหารจัดการในครั้งต่อไป อยู่ในระดับมากที่สุด (=4.77, S.D.=0.43)



Figure 6 Representatives of Farmer Groups Attending the Training on Developing an IoT Monitoring System for Vertical *Wolffia* Cultivation towards a Digital Agricultural Community.

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ (1) ส่วนตรวจวัด (Sensor) (2) ส่วนประมวลผล (Node MCU) และ (3) ส่วนแสดงผล/ควบคุม (IoT Cloud Platform) ที่แสดงผลการทำงานของระบบผ่านเครือข่ายไร้สาย ซึ่งสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมปรับให้เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงไข่น้ำได้เป็นอย่างดี มีการพัฒนาชุดควบคุมที่จำเป็นต่อการทำการเกษตรแม่นยำ ข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิอากาศและในน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ และการควบคุมเวลาการเปิด-ปิดแสงไฟ จะถูกเก็บจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่เพาะเลี้ยงและยังสามารถช่วยในการประมวลผลและตัดสินใจ สามารถวิเคราะห์ผ่านการรายงานผลแบบ Real – Time (Blynk Cloud) เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการผลิตได้อีกด้วยตามความต้องการของเกษตรกรการเพาะเลี้ยงไข่น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้และ 2) การศึกษาผลการทดลองใช้ระบบระบบติดตามการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า มีการแสดงผลได้ดังนี้ ค่าอุณหภูมิในน้ำตั้งแต่ 0 – 100 (°C) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0 – 100 (%RH) และค่าอุณหภูมิอากาศรอบๆ ตั้งแต่ 0-100 (°C) และค่าความเป็นกรด-ด่าง ตั้งแต่ 0 – 10 pH สามารถบันทึกข้อมูลได้แสดงผลออกเป็นกราฟ Real-time monitoring และค่าที่ได้ ดังนี้ (1) ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 100 (°C) ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 29 – 38 (°C) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ จะอยู่ช่วงระหว่าง 55 – 75(%RH) (2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 10 pH ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 6-7.5 pH (3) ค่าอุณหภูมิในน้ำ สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 – 100 (°C) ค่าความเหมาะสม จะอยู่ช่วงระหว่าง 26 – 32 (°C) และ (4) ค่าความเข้มแสง สามารถวัดได้โดยมีความเข้มแสงอยู่ในช่วงระหว่าง 9,000 – 22,000 ลักส์ เปิดติดต่อกัน จำนวน 12 ชม. ค่าความเหมาะสมกับไข่น้ำจะอยู่ช่วงระหว่าง 12,000 – 15,000 ลักส์ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT



พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำแนวตั้งด้วยเทคโนโลยี IoT โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($= 4.58$, $S.D.=0.55$) และเมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ด้านการทำงานของเซนเซอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ในระดับมากที่สุด ($=4.53$, $S.D.=0.51$) และด้านต่อมา คือ ความเหมาะสมของขนาดและลักษณะของอุปกรณ์ อยู่ในระดับมากที่สุด ($=4.60$, $S.D.=0.56$) และด้านสุดท้าย คือ ระบบสามารถรายงานค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แก่เกษตรกร เพื่อช่วยต่อการวางแผนการบริหารจัดการในครั้งต่อไป อยู่ในระดับมากที่สุด ($=4.77$, $S.D.=0.43$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์บ้านเขาใหญ่ องค์การบริหารส่วนตำบลเขาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม และคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงาน พร้อมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำโครงการวิจัย ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธิวา แก้วมาตร ที่กรุณาตรวจสอบคุณภาพงานวิจัย แก้วไข ขอเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่งแก่ผู้วิจัยและคณะตลอดจนเจ้าของผลงาน ตำรา เอกสารทางวิชาการทุกท่านที่ผู้วิจัยได้นำมาศึกษา ก่อให้เกิดแนวคิดอันมีคุณค่าต่องานวิจัย ท้ายนี้ ขอขอบคุณท่านนายก อบต. เจ้าหน้าที่ กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน ตัวแทนชุมชนและเกษตรกรที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ และเสียสละเวลาในการให้ข้อมูลตอบแบบสอบถามตลอดจนครอบครัวที่เป็นแรงสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

References

- Boontham, K. (2006). *Teknik kan sang khruangmue ruapruam khomun samrap kan wichai* [Techniques for creating data collection tools for research]. Jamjuree Product.
- Jantabut, C., Kaenchan, J., Pimmarat, S., Bandit, P., Chanwan, S., Sunthorn, T., Tanakit, C., Chatcharasakul, W., & Thongnet, K. (2024). The development of environmental control system using Internet of Things technology in frog farm. *Journal of Academic Management Technology Rajabhat Maha Sarakham University*, 11(2), 37–78.
- Niyanuch, U., & Tangwongchai, R. (2010). Phon khong unhaphum lae raya vela nai kan kep raksa to kan plianplaeng khunalakšana khong khai-nam [Effect of storage temperature and duration on the quality changes of water meal]. *Agricultural Science Journal*, 41(1 Suppl.), 247–250.
- Panphithak, S., Kaewsikhao, A., & Bannluksuk, K. (2025). The study of the effect of light intensity and light duration on duckweed cultivation. *Journal of Science, Engineering and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University*, 3(2), 14–25.



- Panvanitdamrong, K., & Raojai, S. (2009). Kan sueksa thotlong pho-liang khai-nam (Wolffia arrhiza (L.) Wimm.) lae kan nam pai chai prapprung khunnaphap si pla thong [Experimental study on culture of wolffia (Wolffia arrhiza (L.) Wimm.) and it's use for gold fish color quality improvement]. In *Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Fisheries* (pp. 162–169). Kasetsart University.
- Sansayavichai, T. (2015). *Chut khronkan wichai lae phatthana kan phoem phonphalit oi [Research and development project for increasing sugarcane productivity] (Research project report)*. Department of Agriculture.
- Sermphol, C., Sriwankham, C., Kongthan, Y., & Suansanit, N. (2020). Rabop kaset naeo tang khuapkhum phan aep-phli-khe-chan bon samat-fon [Vertical farming system controlled via smartphone application]. *Journal of Management and Eastern Technology*, 8(2), 170–179.
- Sujarit, C., & Khamcharoen, M. (2009). *Kan sueksa kan chai prayot chak khai-nam [A study on the utilization of water meal] (Research report)*. Rajamangala University of Technology.
- Utmoang, S. (2012). *Kan phatthana tamrap ahan chak khai-nam phuea songsoem kan chai prayot radap chumchon lae choeng phanit [Development of water meal food recipes to promote community and commercial utilization]*. Faculty of Agricultural Technology, Phetchabun Rajabhat University.