

ระบบพยากรณ์อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ด้วยการถดถอยเชิงพหุคูณ กรณีศึกษา พื้นที่ตำบลสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

วรุฒม์ บุญเยี่ยม¹ พรประสิทธิ์ บุญทอง² อาทิตย์ อยู่เย็น^{3*}

ศิวะพร วิวัฒน์ภิญโญ⁴ และ ศิริเรือง พัฒน์ช่วย⁵

^{1,2,3,4,5}สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

E-mail: ¹waroot.boo@rmutr.ac.th, ²pornprasit@rmutr.ac.th, ^{3*}arthit.yoo@rmutr.ac.th,

⁴siwaphon.viw@rmutr.ac.th, ⁵siriruang.pha@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

การเลี้ยงกุ้งเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิน้ำมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพและการเติบโตของกุ้ง งานวิจัยนี้พัฒนาระบบเครื่องมือในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้ง เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยใช้เซ็นเซอร์ 7 ชนิด เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมดังนี้ 1. เวลา 2. อุณหภูมิน้ำ 3. อุณหภูมิอากาศ 4. ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 5. ค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำ 6. ความเข้มแสง 7. ความเร็วลม 8. ทิศทางลม ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการถดถอยเชิงพหุคูณเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการพยากรณ์อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยพบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ได้แก่ 1. เวลา 2. อุณหภูมิน้ำ 3. อุณหภูมิอากาศ 4. ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 5. ความเข้มแสง และพัฒนาระบบพยากรณ์อุณหภูมิน้ำแบบเรียลไทม์ ล่วงหน้า 1 ชั่วโมง ด้วยความแม่นยำร้อยละ 98.2 ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิน้ำในบ่อได้อย่างทันท่วงที เพื่อลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ

คำสำคัญ: การเลี้ยงกุ้ง พยากรณ์ อุณหภูมิน้ำ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (ไอโอที) การถดถอยเชิงพหุคูณ

* Corresponding author, e-mail: arthit.yoo@rmutr.ac.th

Shrimp Pond Water Temperature Forecasting System Using Multiple Regression: A Case Study of Sam Roi Yot Subdistrict, Prachuap Khiri Khan Province

Waroot Boonliam¹ Pornprasit Boontong² Arthit Yooyen^{3*}

Siwaphon Viwatpinyo⁴ and Siriruang Phatchuay⁵

^{1,2,3,4,5}Computer Engineering Technology Faculty of Industry and Technology

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

E-mail: ¹waroot.boo@rmutr.ac.th ²pornprasit@rmutr.ac.th ^{3*}arthit.yoo@rmutr.ac.th

⁴siwaphon.viw@rmutr.ac.th ⁵siriruang.pha@rmutr.ac.th

Abstract

Shrimp farming is an important economic industry, where water temperature control plays a crucial role in the health and growth of shrimp. This research develops a tool system for collecting shrimp pond environmental data to forecast water temperature in shrimp ponds using 7 types of sensors to collect environmental data as follows: 1. Time 2. Water temperature 3. Air temperature 4. Air relative humidity 5. Water pH 6. Light intensity 7. Wind speed 8. Wind direction. The obtained data were analyzed using multiple regression to find the relationship of various factors on the forecast of water temperature in shrimp ponds. It was found that the factors with significance at the 0.05 level were: 1. Time 2. Water temperature 3. Air temperature 4. Air relative humidity 5. Light intensity. A real-time temperature forecasting system was developed, 1 hour in advance, with an accuracy of 98.2 percent, which allows farmers to promptly prepare equipment to adjust the water temperature in the pond to reduce possible losses from changes in water temperature.

Keywords: Shrimp Farming, Forecast, Water Temperature, Internet of Things (IoT), Multiple regression

* Corresponding author, e-mail: arthit.yoo@rmutr.ac.th

1. บทนำ

การเลี้ยงกุ้งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในหลายประเทศทั่วโลก [1] โดยการควบคุมสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยง เช่น อุณหภูมิของน้ำ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของกุ้ง ดังนั้นการพัฒนาระบบอัจฉริยะเพื่อพยากรณ์อุณหภูมิน้ำจึงเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง และลดความเสี่ยงจากปัจจัยแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบพยากรณ์อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยเริ่มจากการสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ครอบคลุมปัจจัยสำคัญต่าง ๆ โดยใช้เซ็นเซอร์ 7 ประเภท เช่น เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ความเข้มแสง ความเร็วลม และทิศทางลม [2] ข้อมูลที่เก็บได้จะถูกส่งไปยังบอร์ด Raspberry Pi ในทุกชั่วโมงเพื่อการประมวลผลและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น งานวิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple regression) [3] เพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยต่ออุณหภูมิน้ำ จากนั้นทำการตัดข้อมูลที่มีความสัมพันธ์น้อยที่สุดออกทีละปัจจัย จนเหลือเฉพาะข้อมูลที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิน้ำ สมการที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบพยากรณ์อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบเรียลไทม์ โดยระบบนี้จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการสนับสนุนเกษตรกรให้สามารถจัดการบ่อเลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

การวิจัยนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำ แต่ยังเป็นการนำเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงเข้ามาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเครื่องมือเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกุ้ง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กับอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยใช้การถดถอยเชิงพหุคูณ
3. เพื่อพัฒนาระบบพยากรณ์อุณหภูมิน้ำแบบเรียลไทม์

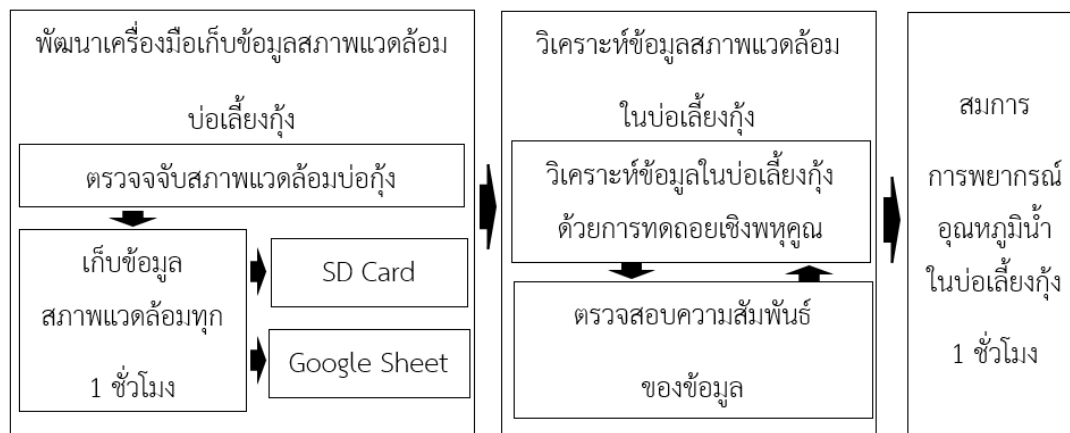
3. กรอบแนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาระบบพยากรณ์อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในงานวิจัย ดังรูปที่ 1 และมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. พัฒนาเครื่องมือเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมบ่อเลี้ยงกุ้ง เก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ 7 ชนิด ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, อุณหภูมิ น้ำ, อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเข้มแสง, ความเร็วและทิศทางลม เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละชั่วโมง
2. การศึกษาผู้วิจัยใช้ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยดังนี้ 1) เวลา 2) อุณหภูมิ น้ำ 3) อุณหภูมิอากาศ 4) ความชื้นสัมพัทธ์

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6) ความเข้มแสง 7) ความเร็วลม 8) ทิศทางลม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับการพยากรณ์อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงกุ้ง 1 ชั่วโมง

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน มีนาคม - กันยายน 2559



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

4. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ทฤษฎี

4.1.1 การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)[4] ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง โดยศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนฯ

1. การเตรียมบ่อ: ใช้บ่อดินขนาด 2.2 ไร่ ลึกประมาณ 1.7 เมตร ก่อนปล่อยกุ้งจะทำการฉีดล้างเลนและใส่ปูนขาว ตากบ่อ 1-2 วัน จากนั้นเติมน้ำให้ได้ระดับที่ต้องการ พร้อมใส่คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อและปรับคุณภาพน้ำ

2. การเตรียมพันธุ์กุ้ง: กุ้งพันธุ์ได้รับการเพาะจากศูนย์วิจัยจนได้ขนาดพร้อมปล่อยเลี้ยง โดยปล่อยลูกกุ้งจำนวน 350,000 ตัว ขนาดเฉลี่ย 0.25 กรัม/ตัว ลงบ่อดินขนาด 2.2 ไร่

3. ระบบน้ำหมุนเวียน: มีการจัดการน้ำในระบบหมุนเวียน โดยใช้บ่อบำบัดชีวภาพและบ่อเลี้ยงปลา นวลจันทร์ทะเล ซึ่งช่วยปรับคุณภาพน้ำและควบคุมของเสีย ตลอดจนการเติมจุลินทรีย์ *Bacillus* เพื่อควบคุมเชื้อแบคทีเรียทุก 3 วัน

4. การให้อาหาร: ใช้อาหารกุ้งโปรตีนสูงและให้อาหารด้วยเครื่องอัตโนมัติแบบปริมาณน้อยแต่บ่อยครั้ง ตรวจเช็คการกินอาหารเพื่อปรับปริมาณให้เหมาะสม

5. ผลผลิต: ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน ได้ผลผลิตรวม 5,184 กิโลกรัม อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.20 กรัม/วัน อัตราการแลกเนื้อ (FCR) 1.3 กำไรจากการเลี้ยง 282,202 บาท ซึ่งเป็นผลผลิตที่ปลอดสารตกค้างและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4.1.2 เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ

1. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ทำานโดยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในของเหลว (น้ำ)

ผ่านวัสดุที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิ มักประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ตัวรับสัญญาณที่สัมผัสกับน้ำ และวงจรที่แปลงค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เป็นค่าอุณหภูมิ

2. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นทำงานโดยใช้หลักการของการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศ เซ็นเซอร์เหล่านี้มักจะรวมเข้าด้วยกันในโมดูลเดียว เช่น *DHT22* หรือ *AM2302* ที่สามารถตรวจวัดทั้งอุณหภูมิและความชื้นได้ในเวลาเดียวกัน

3. เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Sensor) ทำงานโดยวัดความเข้มข้นของไอออนไฮโดรเจน (H^+) ในสารละลาย ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเป็นกรด-ด่าง การทำงานของเซ็นเซอร์แบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ขั้ววัด pH (pH Electrode) เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ใช้ขั้วไฟฟ้าแบบพิเศษที่ประกอบด้วยขั้วอ้างอิง (Reference Electrode) และขั้วกระจก (Glass Electrode) ซึ่งไวต่อไอออน H^+ ขั้วกระจกนี้จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเมื่อสัมผัสกับสารละลาย และแรงดันไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลาย ความแตกต่างของแรงดันที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาแปลงเป็นค่าพีเอช (pH) ของสารละลายนั้น ๆ 2) เครื่องอ่านค่าและวงจรแปลงสัญญาณ (Signal Conditioning Circuitry) สัญญาณแรงดันจากขั้วกระจกจะถูกแปลงและขยายโดยวงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้ระบบสามารถอ่านค่าและแสดงผลค่าความเป็นกรด-ด่างได้อย่างแม่นยำ ในเซ็นเซอร์สมัยใหม่ บางรุ่นอาจมีไมโครคอนโทรลเลอร์ในตัวที่ช่วยแปลงสัญญาณเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างที่อ่านได้ทันทีผ่านระบบดิจิทัล

4. เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Intensity Sensor) ทำงานโดยการตรวจจับปริมาณแสงที่ตกกระทบและแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสามารถอ่านค่าเพื่อวัดระดับความเข้มของแสงได้

5. เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม (Anemometer) ทำงานโดยการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอากาศหรือแรงลมที่ผ่านเซ็นเซอร์ ซึ่งสามารถแปลงสัญญาณเหล่านี้เป็นค่าความเร็วของลมได้

6. เซ็นเซอร์วัดทิศทางลม (Wind Vane) ทำงานโดยการระบุทิศทางที่ลมพัดผ่านไปบนแนวระนาบ ส่วนประกอบหลักของเซ็นเซอร์นี้คือ "ครีป" หรือ "ใบ" ซึ่งสามารถหมุนไปในทิศทางที่ลมพัด ทำให้ปลายแหลมของครีปชี้ไปในทิศทางที่ลมมาจาก (เช่น ทิศเหนือหรือใต้)

4.1.3 การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression) คือเทคนิคทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable) หนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระ (Independent Variables) หลายตัว โดย Multiple Regression ใช้ในการคาดการณ์ค่าของตัวแปรตาม โดยอาศัยค่าของตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งทำให้สามารถพิจารณาปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตามในเวลาเดียวกันได้

สมการพื้นฐานของ Multiple Regression มีรูปแบบดังนี้:

$$Y' = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_n \quad (1)$$

โดยที่	Y'	แทนค่าของตัวแปรตาม(Dependent Variable)
	X	แทนค่าของตัวแปรอิสระ (Independent Variables)
	b_0	แทนค่าคงที่ (Intercept)

b1, b2... แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficients)

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ บุญรัตน์. [5] ทำการทดลองการลำเลียงลูกกุ้งในถุงพลาสติกโดยใช้อุณหภูมิและความหนาแน่นต่าง ๆ ในการทดลอง ทำการลำเลียงลูกกุ้ง 3 ชนิด ได้แก่ กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*), กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ได้ดำเนินการที่ความหนาแน่น 4 ระดับ (750, 1,000, 1,500 และ 2,000 ตัวต่อลิตร) และอุณหภูมิ 2 ระดับ (22.5°C และ 29.2°C) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (22.5°C) ให้ผลการรอดชีวิตของลูกกุ้งที่ดีกว่าอุณหภูมิสูงกว่า (29.2°C) โดยเฉพาะที่ความหนาแน่นสูง ลูกกุ้งจะรอดชีวิตมากขึ้นเมื่อลำเลียงที่อุณหภูมิ 22.5°C ความหนาแน่นที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการรอดชีวิตลดลง เนื่องจากเกิดการสะสมของแอมโมเนียและไนโตรที่เพิ่มขึ้น และลดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ส่งผลให้สภาพแวดล้อมในถุงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกกุ้ง

งานวิจัยของ J. Duangwongsa et al. [6] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, ออกซิเจนละลายน้ำ, และความขุ่น ทั้งนี้ ระบบควบคุมการวัดผ่าน **Arduino Nano** และจัดเก็บข้อมูลใน **Firestore Realtime Database** พร้อมแจ้งเตือนผู้ใช้งานแอปพลิเคชันมือถือหากค่าพารามิเตอร์ออกนอกช่วงมาตรฐาน การทดลองซึ่งจัดขึ้นที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้พบว่าระบบนี้มีความแม่นยำในการตรวจวัดและสามารถใช้งานได้ง่าย ทำให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

งานวิจัยของ J. Capelo et al. [7] ได้นำเสนอระบบ IoT ที่ใช้ Raspberry Pi ร่วมกับ ATmega328p และ XBee เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อกุ้งแบบเรียลไทม์ โดยใช้เซ็นเซอร์ในการวัดอุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง, ความเค็ม และออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญต่อสุขภาพและการเติบโตของกุ้ง ระบบดังกล่าวสามารถควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศได้อัตโนมัติเพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ทั้งนี้ยังรองรับการแจ้งเตือนและการตรวจสอบจากระยะไกลผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการบ่อกุ้งได้อย่างแม่นยำและลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่อาจเป็นอันตรายต่อกุ้ง

งานวิจัยของ P. Kirankumar et al. [8] นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยระบบนี้ใช้ Arduino Uno เป็นหน่วยควบคุมในการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, อุณหภูมิ, และความขุ่น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ข้อมูลที่เก็บได้ถูกวิเคราะห์ผ่านอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่อง เช่น การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ การตัดสินใจแบบต้นไม้ (Decision Tree) เพื่อพยากรณ์ค่าคุณภาพน้ำล่วงหน้า ระบบจะส่งการแจ้งเตือนให้เกษตรกรเมื่อค่าตัวแปรออกนอกช่วงมาตรฐานที่เหมาะสม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การผสานเทคโนโลยี IoT กับ Machine Learning ช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการจัดการบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

งานวิจัยของ Krishna Reddy D. et al. [9] เสนอการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในฟาร์มสัตว์น้ำ โดยใช้เทคโนโลยี IoT โดยมี NodeMCU ESP32 เป็นหน่วยควบคุม และเซ็นเซอร์ในการวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, อุณหภูมิ, และความชื้น เซ็นเซอร์เหล่านี้ทำงานร่วมกันเพื่อวัดคุณภาพน้ำในบ่อ โดยข้อมูลที่เก็บได้จะถูกส่งไปยังคลาวด์เพื่อการวิเคราะห์ และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เมื่อตัวแปรใด ๆ ออกนอกช่วงที่กำหนด บทความนี้ชี้ให้เห็นว่าการนำ IoT และการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์สามารถช่วยให้เกษตรกรจัดการคุณภาพน้ำได้อย่างแม่นยำ และช่วยเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยของ Nguyen Thai-Nghe et al. [10] นำเสนอระบบ IoT สำหรับตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเน้นการพยากรณ์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ เช่น ความเค็ม, ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, อุณหภูมิ และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ระบบนี้ใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่เก็บมาเป็นประจำเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบ Single Exponential Smoothing (SES) และ Stochastic Gradient Descent (SGD) เพื่อหาค่าคุณภาพน้ำล่วงหน้า ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถรับการแจ้งเตือนล่วงหน้าก่อนที่คุณภาพน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่อาจเป็นอันตราย

งานวิจัยของ Franz Joseph D. Libao et al. [11] นำเสนอระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงปลากระชังแบบหมุนเวียนอัตโนมัติสำหรับการเลี้ยงปลานิลสายพันธุ์โมโลบิคส์ โดยใช้เทคโนโลยี IoT และเซ็นเซอร์ในการวัดปัจจัยสำคัญ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิ, ความเค็ม, และออกซิเจนละลายน้ำ ระบบนี้สามารถควบคุมคุณภาพน้ำโดยอัตโนมัติผ่านการตั้งค่าขอบเขตของพารามิเตอร์ หากค่าที่วัดได้เกินขอบเขต ระบบจะส่งคำสั่งให้มอเตอร์และปั๊มทำงานเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีระบบแจ้งเตือนทางเสียงและแสงเพื่อแจ้งให้เกษตรกรทราบเมื่อพบความผิดปกติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบอัตโนมัตินี้สามารถลดข้อผิดพลาดในการวัดด้วยคน และช่วยให้การจัดการบ่อเลี้ยงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกมากขึ้น

งานวิจัยของ Munesh Singh et al. [12] เสนอระบบ IoT เพื่อการจัดการการเลี้ยงสัตว์น้ำในน้ำจืดอย่างยั่งยืน โดยระบบนี้ติดตั้งเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดพารามิเตอร์สำคัญ เช่น ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ของแข็งละลายน้ำ (TDS) และอุณหภูมิ ข้อมูลที่รวบรวมจะถูกวิเคราะห์ผ่านอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ Random Forest (RF), Linear Regression (LR), Support Vector Regression (SVR) และ Gradient Boosting Machine (GBM) เพื่อพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์น้ำ การทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดล RF ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด ด้วยความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่น้อยกว่า 1.428 สำหรับค่าออกซิเจนละลายน้ำ และ 0.141 สำหรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ระบบนี้ช่วยให้การควบคุมและบำรุงรักษาสุขภาพแวดล้อมใต้น้ำเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนและปัจจัยเสี่ยงในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

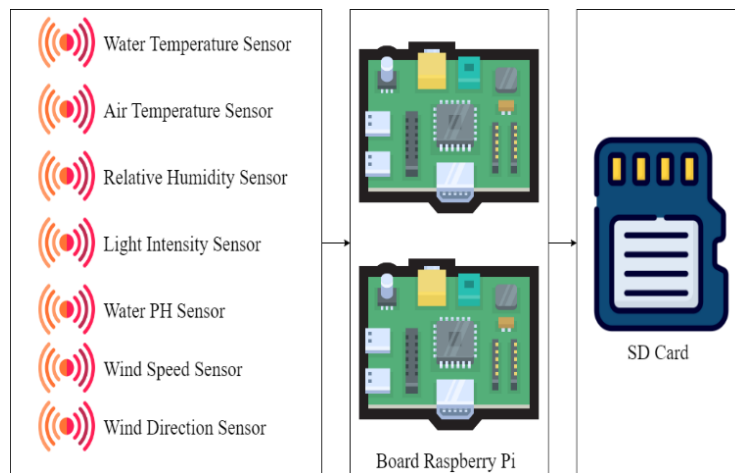
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้เริ่มจากการศึกษาเบื้องต้นในสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ขยายไปสู่การพัฒนา IoT ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ จากนั้นเพิ่มการควบคุมอัตโนมัติ และการพยากรณ์คุณภาพน้ำด้วย Machine Learning จนถึงการพัฒนาแบบอย่างยั่งยืน

5. วิธีดำเนินการวิจัย

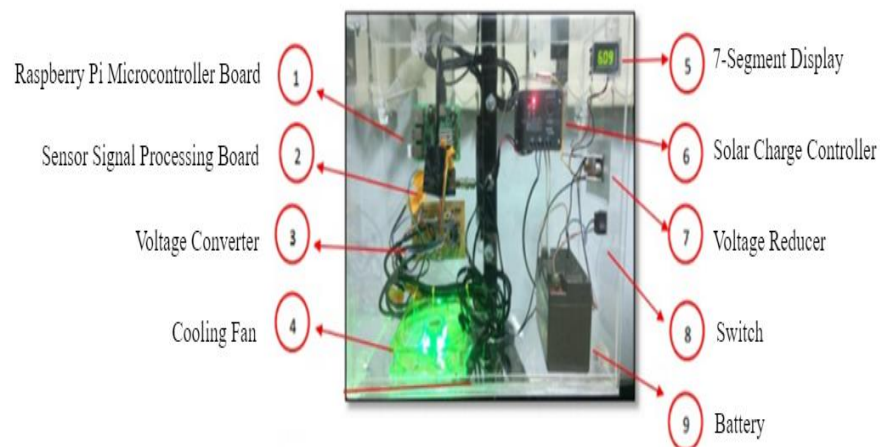
งานวิจัยนี้ใช้ขั้นตอนและวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้:

ขั้นตอนที่ 1: ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและใช้ข้อมูลที่ได้รับเพื่อออกแบบเครื่องมือทดลอง IoT สำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งเพื่อศึกษาอุณหภูมิของน้ำ

ขั้นตอนที่ 2: ออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัย การออกแบบนี้จะรวมถึงเซ็นเซอร์ 7 ตัวเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การคาดการณ์ปัจจัยด้านน้ำและสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงกุ้ง เซ็นเซอร์ 7 ตัวมีดังนี้: 1) เซ็นเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ 2) เซ็นเซอร์อุณหภูมิอากาศ 3) เซ็นเซอร์ความเร็วลม 4) เซ็นเซอร์ทิศทางลม 5) เซ็นเซอร์ความเข้มแสง 6) เซ็นเซอร์อุณหภูมิน้ำ และ 7) เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ส่วนประกอบอื่นของระบบคือข้อมูลเวลาตามที่แสดงในรูปที่ 2 แผนผังบล็อกนี้แสดงให้เห็นระบบที่ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฟาร์มกุ้ง รูปภาพที่สองแสดงอุปกรณ์ระบบ IoT ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งได้รับการออกแบบอย่างสมบูรณ์ เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในภายหลัง



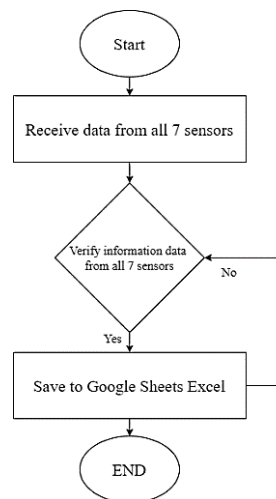
รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบ



รูปที่ 3 อุปกรณ์ตรวจวัดและอุปกรณ์ iot ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ขั้นตอนที่ 3: ออกแบบส่วนประกอบซอฟต์แวร์ รูปที่ 4 แสดงผังงานอธิบายการทำงานของระบบ IoT ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ผังงานสามารถสรุปได้ดังนี้ กระบวนการเริ่มต้นด้วยการเปิดอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ จากนั้นรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัว เมื่อได้รับข้อมูลเซ็นเซอร์แล้ว จะทำการตรวจสอบความถูกต้อง โดยจะทิ้งข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง และรวบรวมใหม่ ในขณะที่ข้อมูลที่ถูกต้องจะถูกส่งไปจัดเก็บในไฟล์ Excel ของ Google Sheets ที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นวงจรการทำงานจะสิ้นสุดลง ระบบจะบันทึกค่าโดยอัตโนมัติ โดยแต่ละระบบเซ็นเซอร์จะรวบรวมข้อมูลทุก ๆ 5 วินาที และคำนวณค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง จากนั้นชุดข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 4: ระบบ IoT สำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งเสร็จสมบูรณ์แล้ว ได้รับการทดสอบในฟาร์มกุ้งที่ตั้งอยู่ในอำเภอสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประเทศไทย รวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และคาดการณ์อุณหภูมิของน้ำในหนึ่งชั่วโมงข้างหน้า



รูปที่ 4 ผังงานระบบ

ขั้นตอนที่ 5: ข้อมูลที่ได้จากระบบ IoT สำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้ง ได้แก่ เวลา (X1) อุณหภูมิของน้ำ (X2) อุณหภูมิอากาศ (X3) ความชื้นสัมพัทธ์ (X4) ความเข้มของแสง (X5) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (X6) ความเร็วลม (X7) และทิศทางลม (X8) รวมทั้งหมด 2,792 ชุดข้อมูล ได้รับการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ในจำนวนนี้ 2,216 ชุดข้อมูล ถูกนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ในขณะที่ 576 ชุดข้อมูลที่เหลือถูกใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการการถดถอยเชิงพหุคูณ สมการตัวแปรที่ 2 ชุดข้อมูล 2,216 ชุดถูกนำมาใช้เพื่อระบุตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามในการเพาะเลี้ยงกุ้ง เมื่อระบุตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ผลลัพธ์จะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสมการที่ดีที่สุดโดยใช้สูตรที่นำเสนอในสมการที่ 1

ขั้นตอนที่ 6: เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเสร็จสิ้น ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งจะถูกปรับแต่งให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้ โดยจะมีการใช้งานเฉพาะชุดเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพตามข้อมูลที่วิเคราะห์เท่านั้น วิธีนี้ช่วยให้ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งสามารถดูข้อมูลบนระบบหน้าจอ IoT ที่พัฒนาขึ้นได้ และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการใช้เซ็นเซอร์ที่ไม่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ

6. ผลและอภิปรายผล

จากข้อมูลในส่วนวัสดุและวิธีการ สามารถสรุปและอภิปรายผลลัพธ์ของการพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในชั่วโมงถัดไปได้ดังนี้:

ในรอบแรกของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณตามที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์ทำนายอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมงได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยความแม่นยำ 98.2% ซึ่งมีความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีข้อผิดพลาดมาตรฐาน ± 1.31 ผลลัพธ์จากตารางแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวกับประสิทธิภาพการเลี้ยงกุ้งนั้นต่ำมาก เมื่อตรวจสอบตัวทำนายเพิ่มเติมในการวิเคราะห์การถดถอย พบว่ามีเพียง X1, X2, X3, X4, X5 และ X8 เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับการพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ ตัวแปร X6 แสดงความสัมพันธ์น้อยที่สุดกับการพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมงที่ 88.85% ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำไม่มีผลสำคัญต่อการคาดเดาอุณหภูมิของน้ำในชั่วโมงถัดไป ดังนั้น นักวิจัยจึงไม่รวมตัวแปร X6 ไว้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณรอบที่สอง ดังที่แสดงในรูปที่ 6

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Statistic	P-value
Regression (between $\hat{y}_i$ and y_i)	5	1299.276209	259.855242	3043.231650	0.00000
Residual (between y_i and $\hat{y}_i$)	271	23.140128	0.0853879		
Total (between y_i and y_i)	276	1322.416338	4.791364		

Coefficient Table Iteration 1 (adjusted R-squared = 0.982)

	Coeff	SE	t-stat	lower $t_{0.025}(268)$	upper $t_{0.975}(268)$	Stand Coeff	p-value	VIF
b	-1.144615	1.314627	-0.870677	-3.732925	1.443695	0.00000	0.384710	
X1	-0.00684162	0.00282047	-2.425705	-0.0123947	-0.00128853	-0.0216209	0.0159393	1.235568
X2	0.929139	0.0147646	62.930417	0.900070	0.958209	0.930319	3.33067e-16	3.398900
X3	0.0758209	0.0270583	2.802128	0.0225470	0.129095	0.121331	0.00544703	29.158478
X4	0.0101089	0.00442400	2.285015	0.00139869	0.0188191	0.0723494	0.0230935	15.591497
X5	0.167988	0.0507271	3.311610	0.0681141	0.267863	0.0513750	0.00105507	3.743012
X6	0.00849383	0.0605067	0.140378	-0.110635	0.127623	0.00204450	0.888467	3.298908
X7	-4.460447	7.724300	-0.577456	-19.668474	10.747581	-0.00904189	0.564116	3.813076
X8	0.00982807	0.00496182	1.980738	0.0000589583	0.0195972	0.0236897	0.0486430	2.224642

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณรอบแรก

Coefficient Table Iteration 2 (adjusted R-squared = 0.982)

	Coeff	SE	t-stat	lower $t_{0.025}(269)$	upper $t_{0.975}(269)$	Stand Coeff	p-value	VIF
b	-1.002501	0.837135	-1.197538	-2.650670	0.645669	0.00000	0.232151	
X1	-0.00675171	0.00274177	-2.462536	-0.0121498	-0.00135365	-0.0213367	0.0144229	1.171852
X2	0.929016	0.0147113	63.149984	0.900052	0.957979	0.930195	0.00000	3.386747
X3	0.0753567	0.0268065	2.811132	0.0225794	0.128134	0.120588	0.00529981	28.722981
X4	0.00996303	0.00429238	2.321096	0.00151210	0.0184140	0.0713054	0.0210293	14.731250
X5	0.167936	0.0506332	3.316708	0.0682478	0.267623	0.0513588	0.00103627	3.742806
X7	-5.041721	6.508754	-0.774606	-17.856299	7.772857	-0.0102202	0.439253	2.717306
X8	0.00962220	0.00473151	2.033642	0.000306697	0.0189377	0.0231935	0.0429691	2.030316

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ รอบที่ 2

Coefficient Table Iteration 3 (adjusted R-squared = 0.982)

	Coeff	SE	t-stat	lower t _{0.025(270)}	upper t _{0.975(270)}	Stand Coeff	p-value	VIF
b	-1.073025	0.831552	-1.290387	-2.710176	0.564127	0.00000	0.198020	
X1	-0.00637803	0.00269700	-2.364864	-0.0116879	-0.00106821	-0.0201559	0.0187442	1.135575
X2	0.927169	0.0145061	63.915848	0.898610	0.955729	0.928346	4.44089e-16	3.297828
X3	0.0700396	0.0258936	2.704903	0.0190606	0.121019	0.112080	0.00726685	26.839615
X4	0.00937861	0.00422242	2.221145	0.00106555	0.0176917	0.0671227	0.0271709	14.276125
X5	0.168149	0.0505949	3.323444	0.0685387	0.267760	0.0514242	0.00101206	3.742694
X8	0.00819438	0.00435447	1.881834	-0.000378643	0.0167674	0.0197518	0.0609342	1.722174

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ รอบที่ 3

Coefficient Table Iteration 4 (adjusted R-squared = 0.982)

	Coeff	SE	t-stat	lower t _{0.025(271)}	upper t _{0.975(271)}	Stand Coeff	p-value	VIF
b	-1.414521	0.815306	-1.734958	-3.019660	0.190617	0.00000	0.0838852	
X1	-0.00683796	0.00269847	-2.534018	-0.0121506	-0.00152534	-0.0216093	0.0118400	1.126250
X2	0.938220	0.0133264	70.403101	0.911983	0.964456	0.939411	0.00000	2.757396
X3	0.0771820	0.0257337	2.999258	0.0265186	0.127845	0.123509	0.00295798	26.262950
X4	0.0109624	0.00415705	2.637066	0.00277820	0.0191466	0.0784580	0.00884550	13.708937
X5	0.157428	0.0505083	3.116868	0.0579891	0.256866	0.0481452	0.00202444	3.695232

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ รอบที่ 4

จากรูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณรอบที่ 2 หลังจากลบตัวแปร X6 ออกไป พบว่าตัวแปรอีกตัวคือ X7 มีความเกี่ยวข้องน้อยมากกับการพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมง ดังนั้น ตัวแปร X7 จึงถูกกำจัดออกไปในรอบที่สามของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

จากรูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณรอบที่ 3 หลังจากลบตัวแปร X7 ออกไป พบว่าตัวแปรอีกตัวคือ X8 มีความเกี่ยวข้องน้อยกับการพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมง ดังนั้น ตัวแปร X8 จึงถูกแยกออกไปในรอบที่ 4 ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

จากรูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณรอบที่ 4 ระบุว่าควรวัดเพื่อพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมงมีความสัมพันธ์สูงมากกับตัวแปรแต่ละตัว ความแม่นยำในการทำนายเพื่อพยากรณ์อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมงอยู่ที่ 98.2% ซึ่งมีความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีข้อผิดพลาดมาตรฐานอยู่ที่ ± 0.82 ตัวแปร X1, X2, X3, X4 และ X5 แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01, 0.000001, 0.003, 0.009 และ 0.002 ตามลำดับ

จากการพยากรณ์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y และตัวแปรทำนาย X อธิบายความแปรปรวน (R²) ของ Y ได้ 98.25% โดยมีค่า R² ที่ปรับแล้วเท่ากับ 98.22% และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หลายตัวแปรเท่ากับ 99.12% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคาดการณ์ในอนาคตและข้อมูลปัจจุบันที่ใช้ในการพยากรณ์มีความเหมาะสมและเสถียรสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลคาดการณ์ในอนาคตมีความสอดคล้องกับข้อมูลคาดการณ์ในปัจจุบันอย่างใกล้ชิด สรุปได้ว่าสมการพยากรณ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการเลี้ยงกุ้งมีดังนี้

$$Y = -1.414521 - 0.00683796 X_1 + 0.938220 X_2 + 0.0771820 X_3 + 0.0109624 X_4 + 0.157428 X_5 \quad (2)$$

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิในบ่อเลี้ยงกุ้งมี 5 ปัจจัย ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มของแสง โดยสามารถพยากรณ์อุณหภูมิล่วงหน้า 1 ชั่วโมง โดยผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มกุ้งเพื่อช่วยเกษตรกรวางแผนการจัดการอุณหภูมิน้ำ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากระบบตรวจพบแนวโน้มของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงผิดปกติ สามารถแจ้งเตือนล่วงหน้าเพื่อให้เกษตรกรเตรียมอุปกรณ์ในการปรับอุณหภูมิ ลดความเสี่ยงของความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการพยากรณ์นี้มีข้อจำกัด เนื่องจากแบบจำลองใช้ ปัจจัยนำเข้าเพียง 5 ตัว และไม่ได้รวมปัจจัยอื่นที่อาจมีผล เช่น ค่าความเค็มของน้ำ หรือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ใช้พัฒนาแบบจำลองเป็นข้อมูลจาก ปี 2559 ซึ่งอาจไม่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในปัจจุบันได้อย่างครบถ้วน

7. สรุปผล

จากการวิจัยการพยากรณ์อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้เทคนิคถดถอยเชิงพหุคูณ พบว่านักวิจัยใช้ปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความเข้มแสง ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ความเร็วลม และทิศทางลม เพื่อออกแบบอุปกรณ์ IoT สำหรับการเลี้ยงกุ้งและรวบรวมข้อมูลตามที่แสดงในรูปที่ 3 จากนั้นจึงทดสอบอุปกรณ์เหล่านี้ โดยรวบรวมข้อมูลจากผู้เลี้ยงกุ้งในอำเภอสามร้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ หลังจากรวบรวมข้อมูลเสร็จแล้ว การวิเคราะห์ผลการวิจัยพบว่ามีเพียง 5 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิในบ่ออย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ เวลา เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ น้ำ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ เซ็นเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ และเซ็นเซอร์ความเข้มแสง ตามที่แสดงในข้อมูลการวิเคราะห์ด้านบน จากนั้นนักวิจัยจึงพัฒนาชุดเครื่องมือ IoT สำหรับการเลี้ยงกุ้งชุดใหม่ โดยรวมเฉพาะ 5 ปัจจัย เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงกุ้ง สำหรับผู้เลี้ยงกุ้งในอำเภอสามร้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ความก้าวหน้าครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิตของการเพาะเลี้ยงกุ้ง ด้วยการทำให้เกษตรกรและผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถควบคุมคุณภาพกุ้งและลดอัตราการตายได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านการใช้เครื่องมือระบบ IoT ในการเพาะเลี้ยงกุ้ง

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้มอบทุนสนับสนุนงานวิจัย เลขที่ A36/2559

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jory, D. E. (2018). *Current production, challenges and the future of shrimp farming*. Global Seafood Alliance. Retrieved on October 30, 2024, searched at <https://www.globalseafood.org/advocate/current-production-challenges-and-the-future-of-shrimp-farming>

- [2] Jayandan, S. A., Prathibanandhi, K., Sahana, A., Agiles, M. B., & Moorthy, D. R. (2023). *Aquaculture Water Quality Monitoring System*. 2023 Intelligent Computing and Control for Engineering and Business Systems (ICCEBS), 1–10. <https://doi.org/10.1109/ICCEBS58601.2023.10449172>
- [3] Abubaker, A. M., Elfadil, M., Bashir, E. A., & Awadalla, M. O. (2021). *Rainfall prediction using multiple linear regressions model*. 2021 International Conference on Communication, Control, and Electronics Engineering (ICCCEE), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCEE49695.2021.9429650>
- [4] ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2562). *การเลี้ยงกุ้งขาว (Litopenaeus vannamei) ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2567, เข้าถึงได้จาก https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20191104142447_1_file.pdf
- [5] บุญรัตน์ ประทุมชาติ. (2559). *ผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นของการลี้ยงกุ้งขาว (Litopenaeus vannamei) กุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon) และกุ้งก้ามกราม (Macrobrachium rosenbergii) ระยะโพลลวาท ต่อการรอดตาย ความแข็งแรงและการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ลี้ยงบางประการ*. มหาวิทยาลัยบูรพา
- [6] Duangwongsa, J., Ungsethaphand, T., Akaboot, P., Khamjai, S., & Unankard, S. (2021). *Real-time water quality monitoring and notification system for aquaculture*. Proceedings of the 6th International Conference on Digital Arts, Media and Technology (DAMT) and the 4th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (NCON), 9–13. <https://doi.org/10.1109/ECTIDAMTNCON51128.2021.9425744>.
- [7] Capelo, J., Ruiz, E., Asanza, V., Toscano-Quiroga, T., Sánchez-Pozo, N. N., Lorente-Leyva, L. L., & Peluffo-Ordóñez, D. H. (2021). *Raspberry Pi-based IoT for shrimp farms: Real-time remote monitoring with automated system*. Proceedings of the International Conference on Applied Electronics (AE), 2021, 515-540.
- [8] Kirankumar, P., Keertana, G., Abhinash, S. U., Vijaykumar, B., & Shah, C. (2021). *Smart monitoring and water quality management in aquaculture using IoT and ML*. 2021 IEEE International Conference on Intelligent Systems, Smart and Green Technologies (ICISSGT), 32–36.
- [9] Krishna Reddy, D., Sai Kumar, R., Anusha, S., Bhaskar Reddy, P., & Sireesha, K. (2023). *IoT based water quality monitoring for smart aquaculture*. Proceedings of the International Conference on Smart Technologies and Aquaculture Systems, 18–25.
- [10] Nguyen Thai-Nghe, M., Nguyen, D. T., Pham, M. T., & Nguyen, N. H. (2020). *A forecasting model for monitoring water quality in aquaculture and fisheries IoT systems*. Proceedings of the International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), 34–38.

<https://doi.org/10.1109/ATC50370.2020.9255424>.

- [11] Libao, F. J. D., Dimalibot, E. M., Moreno, E. M., & Veran, T. M. (2024). Automated control and IoT-based water quality monitoring system for a *Molobicus tilapia* recirculating aquaculture system (RAS). *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 45–50.

<https://doi.org/10.1109/IEEEJESTPE.2024.10234567>.

- [12] Singh, M., Mehta, A., Kumar, V., & Shukla, S. (2022). Sustainable IoT solution for freshwater aquaculture management. *IEEE Internet of Things Journal*, 18, 1428-1435.

<https://doi.org/10.1109/IEEEIOTJ.2022.10123456>.