

การพัฒนาต้นแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะ

The Development of Smart Nursing Tadpoles Farm
(*Hoplobatrachus rugulosus*)ปริญญาวัดน์ อินทร์เยี่ยม^{1*} และ ณัฐกร อินทรวิชะ¹
Prinyawat Iniam^{1*} and Nuttakorn Intaravicha¹

Received: 24 August 2022

Revised: 8 May 2023

Accepted: 12 May 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะ ดำเนินการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) วิเคราะห์โครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมของแผนกวิชาประมงวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครศรีธรรมราชโดยออกแบบชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิตามระบบ IoT และวิเคราะห์ขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 2) ทดลองศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลูกกบนาโดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกกบนาจากการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมและแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ และ 3) ออกแบบระบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะโดยพิจารณาความสัมพันธ์ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ข้อมูลคุณภาพน้ำและอัตราการเจริญเติบโตของลูกกบนา ผลการศึกษาพบว่าชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิตามระบบ IoT มีความแม่นยำตามหลักการของ Test Accuracy Ratio Level Standards ความเข้มแสงกับอุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($r=0.659$) ความเข้มแสงกับความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ($r=-0.627$) ความเข้มแสงกับอุณหภูมิน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($r=0.543$) น้ำหนัก ความยาว และอัตราการรอด ของลูกกบนาจากการอนุบาลแบบดั้งเดิมมากกว่าการอนุบาลแบบไม่ถ่ายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ผลของการศึกษาขั้นตอนที่ 1 และ 2 นำไปสู่ขั้นตอนที่ 3 คือการออกแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะประกอบไปด้วยตาข่ายพรางแสงเพื่อควบคุมความเข้มแสงให้อยู่ในช่วง 900 Lux – 2,100 Lux อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ โดยเมื่อระบบประมวลผลได้รับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และหรืออุณหภูมิอากาศเกินระดับที่เหมาะสม ระบบจะพ่นละอองน้ำเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และเมื่อระบบประมวลผลได้รับข้อมูลความชื้นเกินระดับที่เหมาะสม ระบบจะเปลี่ยนถ่ายน้ำอัตโนมัติ

คำสำคัญ: สิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ลูกกบนา ฟาร์มอัจฉริยะ

¹ หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมเพื่อการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330¹ Department of Environmental Technology for Agriculture, Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok 10330

* ผู้พิมพ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: prinya33@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this study was to design and development of smart nursing tadpoles farm (*Hoplobatrachus rugulosus*). The research was divided into 3 sections as follows: 1) An analysis of the environmental structure of the traditional nursing tadpoles farm of The Department of Fisheries, The college of Agriculture and Technology, Nakhon Si Thammarat by designing a set of meteorological data recorders in the IoT system and analyzing the size and direction of the relationship between environmental structures by using a correlation coefficient. 2) An experimental study of factors influencing the growth of the tadpoles was compared by comparing the growth rates and survival rates of the tadpoles from traditional and non change water nursery. 3) To design a smart nursing tadpoles farm system by considering the relationship of environmental structure, water quality data and growth rate and growth of tadpoles The results of the study revealed that the Meteorological Data Recording System IoT is accurate according to the Test Accuracy Ratio Level Standards principle. Light intensity and air temperature are related in the same direction ($r=0.659$). Light intensity and relative humidity are related in opposite directions ($r=-0.627$). Light and water temperature were related in the same direction ($r=0.543$), weight, length and survival rate of tadpoles from the traditional nursing more than the non-water change nursing were statistically significant ($P<0.05$). The smart nursing tadpoles farm was equipped with a camouflage net to control the light intensity to be in the range of 900 –2,100 Lux turbidity measurement device light intensity, relative humidity and air temperature. When the processing system receives the relative humidity and/or air temperature data above the appropriate level. The system will spray water to control the relative humidity and when the turbidity data is obtained by the processor above the appropriate level The system will automatically change the water.

Keywords: natural environment; tadpoles; smart farm

บทนำ

กบนา *Hoplobatrachus rugulosus* เป็นสัตว์เศรษฐกิจชนิดหนึ่งนิยมบริโภคในครัวเรือน เนื่องจากบนาเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพดี เป็นที่ต้องการของตลาดและเป็นสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2563 มีผลผลิต 1,940 ตัน คิดเป็นมูลค่า 115 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มจากปี 2562 ร้อยละ 32.77 [1-4] แสดงให้เห็นว่าความต้องการบริโภคเนื้อกบนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเพาะเลี้ยงกบนามีความต้องการเพิ่มผลผลิตสูงทั้งคุณภาพและปริมาณจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่มาใช้ในการบริหารจัดการซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคเกษตรอัจฉริยะในยุคปัจจุบันที่มีการนำเครื่องมือเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการเกษตรเห็นได้จากการขอรับการส่งเสริมการลงทุนในโครงการอุตสาหกรรมการเกษตร มูลค่า 5,690 ล้านบาทในปี 2563 [5] สอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐบาลตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564) [6] ที่เน้นให้มีการนำเทคโนโลยีระบบอัจฉริยะเข้ามาใช้ในการผลิตทางการเกษตรเพิ่มประสิทธิภาพ ให้สามารถรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ในทุกขั้นตอน ท้นต่อเหตุการณ์ของการอนุบาลและการเลี้ยง โดยใช้อุปกรณ์

ตรวจจับและรายงานผลที่แม่นยำสูงนำไปสู่การควบคุมในฟาร์มเพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่ปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ต้นทุนต่ำ สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน จากนโยบายดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุให้นักวิจัยสาขาต่างๆ ให้ความสนใจในการคิดค้นและพัฒนาในการจะนำเอาเทคโนโลยีอัจฉริยะเข้ามาช่วยในการดำเนินการตรวจวัดและควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำเป็นอย่างยิ่งที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตในการเพาะเลี้ยงกบนาเห็นได้การศึกษาของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่วิจัยและพัฒนาาระบบ Aqua Grow ระบบอัจฉริยะเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจอัจฉริยะที่ช่วยเกษตรกรติดตามดูแลคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจ ที่ประกอบด้วย 3 เทคโนโลยีหลัก คือ ระบบบริหารจัดการคุณภาพน้ำ อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณสารเคมี อุปกรณ์ตรวจวัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยจะมีการบันทึกและรวบรวมข้อมูลทั้ง 3 ด้านแบบ Real-time ผ่านเครือข่าย Internet of Things (IoT) ที่สำคัญระบบสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อแจ้งเตือน พร้อมทั้งให้คำแนะนำการปรับสภาพบ่อเลี้ยงในเบื้องต้นแก่ผู้ใช้ [7]

นอกจากการศึกษาวิจัยที่พัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะดังกล่าวข้างต้นแล้ว แนวคิดในการควบคุมโครงสร้างสิ่งแวดล้อมก็เป็นแนวคิดหนึ่งที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นเทคโนโลยีอัจฉริยะทางการเกษตรได้เช่นกันเห็นได้จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับควบคุมโครงสร้างสิ่งแวดล้อมทางการเกษตรหลากหลายงานวิจัย เช่น การศึกษาวิจัยผลของอุณหภูมิและความเค็ม ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาสร้อยในเวียตนาม พบว่าสภาวะความเค็มต่ำที่ 2 – 10‰ ให้อัตราการรอดและการเจริญเติบโตที่ดี และเมื่อค่าความเค็มเกิน 10‰ อัตราการเจริญเติบโตจะลดลง และที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียสทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีที่สุด [8] การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืด เพื่อนำไปใช้ในการจัดการบ่อเลี้ยง พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 6.5 - 9.1 และค่าความเป็นด่าง 82.6 - 472 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียอิสระ 0.01 - 0.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตลดลง [9] การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการพัฒนากบนาเพาะพันธุ์อ่อนที่พบว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการการอนุบาลลูกปลาคูเพาะพันธุ์อ่อน [10] การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกบอดผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยการเกิดกบนาเพศเมียจะมากกว่าเพศผู้ นำไปสู่การออกแบบเทคโนโลยีควบคุมอุณหภูมิในการอนุบาลลูกกบนา [11] การศึกษาผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพาะขยายพันธุ์กบนาลูกผสมในฤดูหนาวคือไม่ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส นำไปสู่การออกแบบเทคโนโลยีควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์กบนา [12] การศึกษาการผสมพันธุ์กบ อาหารบระยะต่างๆและเทคนิคการให้อาหาร พบว่าช่วงระยะการรับแสง (photoperiod) มีอิทธิพลต่อการผสมพันธุ์ การวางไข่ และการฟักออกเป็นตัวของกบ นำไปสู่การออกแบบเทคโนโลยีควบคุมสภาพแวดล้อมของแสงที่เหมาะสมในบ่อเลี้ยง [13] การศึกษาสภาพการเลี้ยงและโรคที่พบในกบในเขตจังหวัดสกลนครและนครพนม พบว่าหากปริมาณแอมโมเนียในน้ำเกินมาตรฐาน และออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำไม่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอเกิดความเครียดและติดโรคได้ง่าย ผลดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบเทคโนโลยีระบบควบคุมค่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกบนา [14]

จากแนวคิดการศึกษาวิจัยดังกล่าวข้างต้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงได้นำหลักการควบคุมโครงสร้างธรรมชาติเป็นแนวคิดของการวิจัยการพัฒนาด้านแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะ ดำเนินการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) วิเคราะห์โครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมของแผนกวิชาประมง วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครศรีธรรมราช โดยออกแบบชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติด้วยระบบ IoT และวิเคราะห์ขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 2) ทดลองศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลูกกบนาโดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการ

รอดของลูกกบนาจากการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมและแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ และ 3) ออกแบบระบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะโดยพิจารณาความสัมพันธ์ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติข้อมูลคุณภาพน้ำและอัตราการเจริญเติบโตของลูกกบนา ผลศึกษานำมาสู่การทดลองใช้ระบบการอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะที่มีราคาถูกมีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกกบนา

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษาสามารถแบ่งวิธีการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน รายละเอียดดังนี้

1. วิเคราะห์โครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมของแผนกวิชาประมงวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครศรีธรรมราช เป็นเวลา วัน 30 ระหว่างวันที่ 2 ตุลาคม 2565 ถึง วันที่ 1 พฤศจิกายน 2565 ดังนี้

1.1 ออกแบบชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิวิทยาระบบ IoT และทดสอบความเที่ยงตรง ตามหลักการ Test Accuracy Ratio Level Standards ของอุปกรณ์วัดไฟฟ้าทั่วไป (Class D) ซึ่งยอมรับได้ที่ระดับ $\pm \%1.0$ [15]

1.2 บันทึกข้อมูลโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ แบบตามเวลาจริง (Real time) ทุก 5 นาที

1.3 วิเคราะห์ขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

2. ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลูกกบนา ดังนี้

2.1 กำหนดหน่วยทดลองโดย หน่วยทดลองที่ 1 คือการอนุบาลลูกกบนาแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำและหน่วยทดลองที่ 2 คือการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิม (มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 4 วัน)

2.2 กำหนดตัวแปรในการศึกษาดังนี้

(1) กำหนดตัวแปรควบคุมได้แก่ ขนาดบ่อ อายุของลูกกบเริ่มต้น 30 วัน สัดส่วนของพื้นเปียกต่อพื้นที่แห้งร้อยละ ตัว 300 วันจำนวน 30 ลิตร ลูกกบอายุ 100 น้ำ 30 ให้อาหารสำหรับลูกกบนาโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 จำนวน ครั้งต่อวัน ระยะเวลาการ 3อนุบาลวัน 30

(2) กำหนดตัวแปรตามได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ความขุ่น แอมโมเนีย ความเป็นด่าง น้ำหนัก ความยาว และอัตราการรอด

2.3 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการรวบรวมข้อมูล เช่น เครื่องบันทึกความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ สายวัดความยาว และเครื่องชั่งน้ำหนัก

2.4 รวบรวมข้อมูล อุณหภูมิอากาศ ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง และ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ในทุก 5 นาที ตามเวลาจริง (Real time) และความขุ่น แอมโมเนีย และความเป็นด่าง ทุกวัน วันละ 3 ครั้ง และทำการสุ่มลูกกบนาจำนวน 50 ตัว เพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุกๆ 7 วัน และวัดอัตราการรอดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยระยะเวลาในการทดลอง 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 2 พฤศจิกายน 2565 ถึง วันที่ 1 ธันวาคม 2565

2.5 วิเคราะห์ความขุ่น ด้วยวิธี Formazin suspension แอมโมเนีย ด้วยวิธี Phenate Method และความเป็นด่างด้วยวิธี Phenolphthalein alkalinity เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วย t-test ที่ระดับนัยสำคัญ ($p=0.05$) [16]

2.6 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบ

3. ออกแบบระบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะโดยพิจารณาความสัมพันธ์ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ข้อมูลคุณภาพน้ำและอัตราการเจริญเติบโตของลูกกบนา

ผลการวิจัย

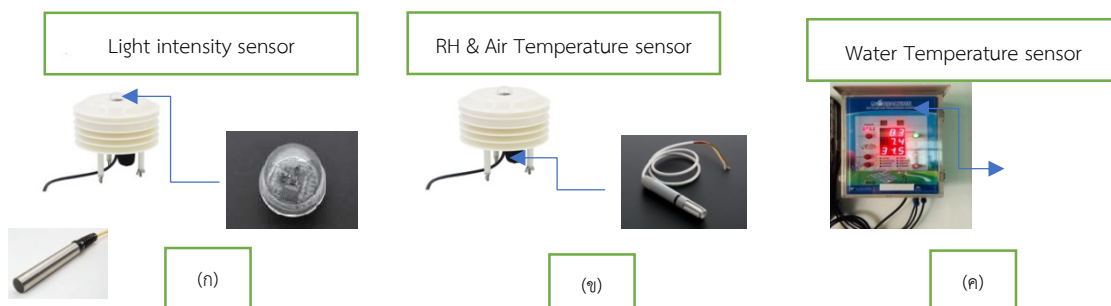
1. โครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิม รายละเอียดดังนี้

1.1 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิม ประกอบด้วย อุปกรณ์บันทึกข้อมูลความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1 คือ

1.1.1 อุปกรณ์บันทึกความเข้มแสง มีลักษณะเป็นโคมรับแสงชนิด LDR (Light Dependent Resistor) ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นข้อมูลทางไฟฟ้าโดยใช้มาตรฐานในการสื่อสารแบบ RS485 [17]

1.1.2 อุปกรณ์บันทึกความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) จะอาศัยการคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าการนำความร้อนของอากาศแห้งกับอากาศที่มีไอน้ำโดยใช้มาตรฐานในการสื่อสารแบบ RS485

1.1.3 อุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิน้ำมีลักษณะเป็นเทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล RTD คือโอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานของเซ็นเซอร์คู่ ใช้มาตรฐานในการสื่อสารแบบ RS485



ภาพที่ 1 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิม

(ก) อุปกรณ์วัดความเข้มแสง (ข) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ค) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิน้ำ

ทั้งนี้เมื่อนำอุปกรณ์บันทึกข้อมูลทั้ง 4 ข้อมูลมาประกอบรวมกันแล้ว ได้เป็นชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยาขนาดเล็ก รวมอยู่ในโดมทรงสูงติดบนขาตั้ง ภายในโดมจะเป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถบันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยา คือ เซ็นเซอร์อุณหภูมิอากาศและน้ำ เซ็นเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ และเซ็นเซอร์ความเข้มแสง ซึ่งเซ็นเซอร์ทั้งหมดจะส่งข้อมูลที่บันทึกได้ในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ประมวลผลจะทำการประมวลผลและทำการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายทางไกลไร้สายมายังระบบ IoT เซอร์เวอร์ ซึ่งผู้ใช้งานที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์สามารถที่จะเรียกดูข้อมูลพร้อมกับออกคำสั่งการให้อุปกรณ์ประมวลผลปลายทางดำเนินการและเมื่อเซ็นเซอร์สัญญาณไฟฟ้าให้อุปกรณ์ประมวลผลแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นข้อมูลแล้วทำการบันทึกข้อมูลลงในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลและส่งข้อมูลไปสำรองในระบบคลาวด์ผ่าน

อุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่ายรับส่งข้อมูลทางไกลไร้สายและซอฟต์แวร์ในระบบคลาวด์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลเชิงตัวเลขให้อยู่ในรูปรายงานที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาแบบ IoT และบันทึกข้อมูลตามเวลาจริง (Real time)

1.2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำของชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยา พบว่าสามารถบันทึกข้อมูล ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อน และความแม่นยำกับเครื่องมือมาตรฐาน พบว่าความเข้มแสงมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ (+) 0.60 ซึ่งต่ำกว่าเครื่องมือมาตรฐาน -0.42 อุณหภูมิมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ (+) 0.39 ซึ่งต่ำกว่าเครื่องมือมาตรฐาน -0.23 และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ (+) 0.50 ซึ่งต่ำกว่าเครื่องมือมาตรฐาน -0.38 เห็นได้ว่าสถานบันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยา มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง - 0.23 ถึง -0.42 ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานการสอบเทียบ ($D \pm 1.0\%$) แสดงให้เห็นว่าสถานบันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยามีความแม่นยำตามหลักการของ Test Accuracy Ratio Level Standards [15] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำของชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระบบ IoT

ข้อมูล	เวลา						
	06.30	08.30	10.30	12.30	14.30	16.30	18.30
ความเข้มแสง (Lux)							
อุปกรณ์บันทึก	1,634	44,562	57,193	56,886	50,337	31,382	236
เครื่องมือมาตรฐาน	1,639	44,205	56,907	57,340	51,214	31,488	552
ค่าความคลาดเคลื่อน%	0.30	-0.80	-0.50	-0.90	-0.60	-0.70	0.23
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย %				-0.42			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
อุปกรณ์บันทึก	22.43	25.17	31.17	33.07	31.53	27.53	24.90
เครื่องมือมาตรฐาน	22.37	25.12	31.34	33.31	31.71	27.48	25.01
ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	0.27	0.20	-0.55	-0.73	-0.57	0.18	-0.44
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย %				-0.23			
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)							
อุปกรณ์บันทึก	95.13	95.49	63.73	56.00	60.57	74.43	85.13
เครื่องมือมาตรฐาน	95.49	86.49	63.26	55.66	60.14	74.60	84.45
ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	0.38	0.33	-0.75	-0.60	-0.70	0.23	-0.80
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย %				-0.27			

1.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมพบว่าความเข้มแสงสูงสุดเฉลี่ย 55,996.0 ลักซ์ ต่ำสุดเฉลี่ย 2,515.0 ลักซ์ อุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ย 36.8 องศาเซลเซียส ต่ำสุดเฉลี่ย 22.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 91 ต่ำสุดเฉลี่ย ร้อยละ 45 และอุณหภูมิน้ำสูงสุดเฉลี่ย 35.2 องศาเซลเซียส ต่ำสุดเฉลี่ย 25.4 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของฟาร์มอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิม

โครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
ความเข้มแสง	55,996.0	2,515.0	20,549±14,494
อุณหภูมิอากาศ	36.8	22.3	28.6±2.5
ความชื้นสัมพัทธ์	91.0	45.0	70.3±9.3
อุณหภูมิน้ำ	35.2	25.4	29.0±2.1

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติพบว่า ความเข้มแสงกับอุณหภูมิอากาศ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน $r=0.659$ กล่าวคือเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้น ความเข้มแสงกับความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน $r=-0.627$ กล่าวคือ เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง และความเข้มแสงกับอุณหภูมิน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน $r=0.543$ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ

รายการ	อุณหภูมิน้ำ	อุณหภูมิอากาศ	ความชื้นสัมพัทธ์	ความเข้มแสง
อุณหภูมิน้ำ		0.**854	-0.**828.	0.**543.
อุณหภูมิอากาศ	0.**854	1	-0.**962.	0.**659.
ความชื้นสัมพัทธ์	-0.**828	-0.**962.	1	-0.**627.
ความเข้มแสง	0.**543	0.**659.	-0.**627.	1

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), N=3,650, สหสัมพันธ์เชิงลบ (-) คือความสัมพันธ์ที่มีทิศทางตรงข้ามกัน, สหสัมพันธ์เชิงบวก (+) คือความสัมพันธ์ที่มีทิศทางเดียวกัน

2. ผลการศึกษาลูกกบนาที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลูกกบนาโดยเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมกับการอนุบาลลูกกบนาแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำมีดังนี้

2.1 การเจริญเติบโตของลูกกบนาระหว่างการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมกับแบบไม่เปลี่ยนน้ำเมื่อดำเนินการทดลองครบ 30 วันพบว่าน้ำหนักและความยาวของลูกกบนาจากการอนุบาลแบบดั้งเดิมและแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือน้ำหนักของลูกกบนาแบบดั้งเดิมเท่ากับ 17.67 ± 4.40 กรัม และน้ำหนักลูกกบนาแบบสภาวะที่ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำเท่ากับ 15.30 ± 2.85 กรัม ความยาวของลูกกบนาแบบดั้งเดิมเท่ากับ 5.87 ± 0.69 เซนติเมตร และความยาวลูกกบนาแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำเท่ากับ 5.30 ± 0.46 เซนติเมตร ดังตารางที่ 4

2.2 อัตราการรอดของลูกกบนาระหว่างการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมกับแบบไม่เปลี่ยนน้ำเมื่อดำเนินการทดลองครบ 30 วันพบว่าอัตราการรอดของลูกกบนาจากการอนุบาลแบบดั้งเดิมมากกว่าการ

อนุบาลแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ กล่าวคืออัตราการรอดของแบบดั้งเดิมมีค่ามากกว่าแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำที่ร้อยละ 64.0 และ 50.7 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของลูกกบนา

ผลผลิต	แบบดั้งเดิม	แบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ
น้ำหนัก (กรัม)	17.67 ± 4.40 a	15.30 ± 2.85 b
ความยาว (เซนติเมตร)	5.87 ± 0.69 a	5.30 ± 0.46 b
อัตราการรอด (%)	64.0	50.7

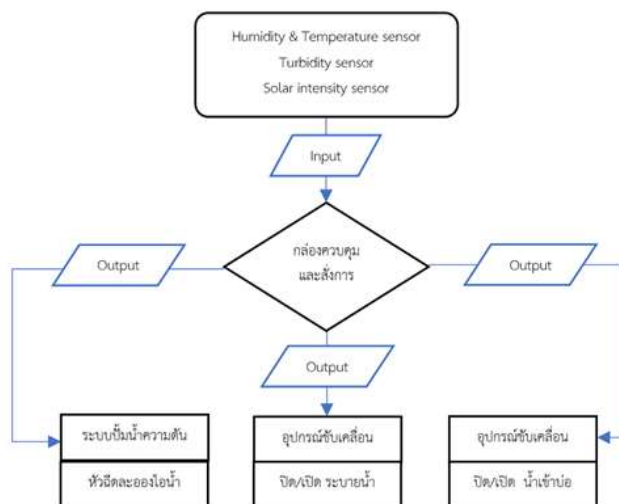
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 คุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมกับแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำพบว่า การอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิม แอมโมเนียเท่ากับ 0.043 ± 0.036 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่างเท่ากับ 410.71 ± 45.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 1.59 ± 0.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่าง 7.78 ± 0.14 และค่าความขุ่น 19.10 ± 12.90 NTU และแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ แอมโมเนียเท่ากับ 0.055 ± 0.045 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 511.91 ± 74.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนละลายน้ำ 1.23 ± 0.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่าง 7.38 ± 0.24 และความขุ่นเท่ากับ 74.04 ± 44.77 NTU ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำของการอนุบาลลูกกบนา

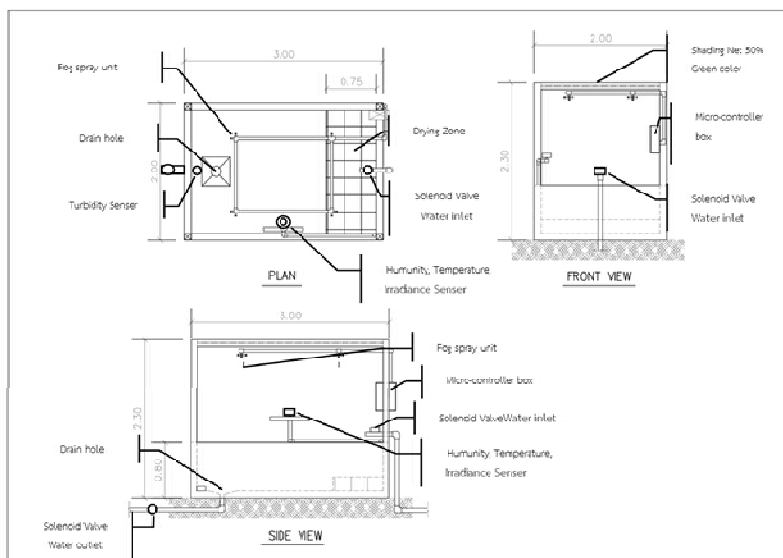
รายการ	ค่ามาตรฐาน[16]	แบบดั้งเดิม	แบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ
แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	< 0.5	0.043 ± 0.036	0.055 ± 0.045
ความเป็นด่าง (มก./ลิตร)	30 - 300	410.71 ± 45.27	511.91 ± 74.24
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ลิตร)	> 3	1.59 ± 0.63	1.23 ± 0.61
พีเอช	6.8 - 9.0	7.78 ± 0.14	7.38 ± 0.24
ความขุ่น (NTU)	5 - 10	19.10 ± 12.90	74.04 ± 44.77

3.การพัฒนาต้นแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะโดยพิจารณาจากผลการศึกษาข้อมูลอุตุนิมวิทยาจากระบบ IoT พบว่าความเข้มแสงมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 10.00-13.00 น. ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศและค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกบนา อีกทั้งผลการศึกษาการเจริญเติบโตของลูกกบนาระหว่างการอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมกับแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำทำให้ทราบว่าช่วงของค่าความขุ่นของการอนุบาลแบบดั้งเดิมและแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่ในช่วง 19.10 – 75.04 NTU ซึ่งเกินค่าความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกบนาที่อยู่ในช่วง 5-10 NTU ดังนั้นการออกแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะจึงให้ความสำคัญกับโครงสร้างสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการอนุบาล 2 โครงสร้างคือความเข้มแสง และความขุ่น ซึ่งทั้งสองโครงสร้างเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แอมโมเนีย ความเป็นด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ และพีเอชในน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย จึงนำไปสู่การออกแบบควบคุมค่าโครงสร้างทั้งสองที่เป็นปัจจัยหลัก ส่งผลให้ค่าคุณภาพน้ำอื่น อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของลูกกบนา โดยทำการออกแบบกลไกการควบคุมระบบฟาร์มอัจฉริยะ ดังภาพที่ 3

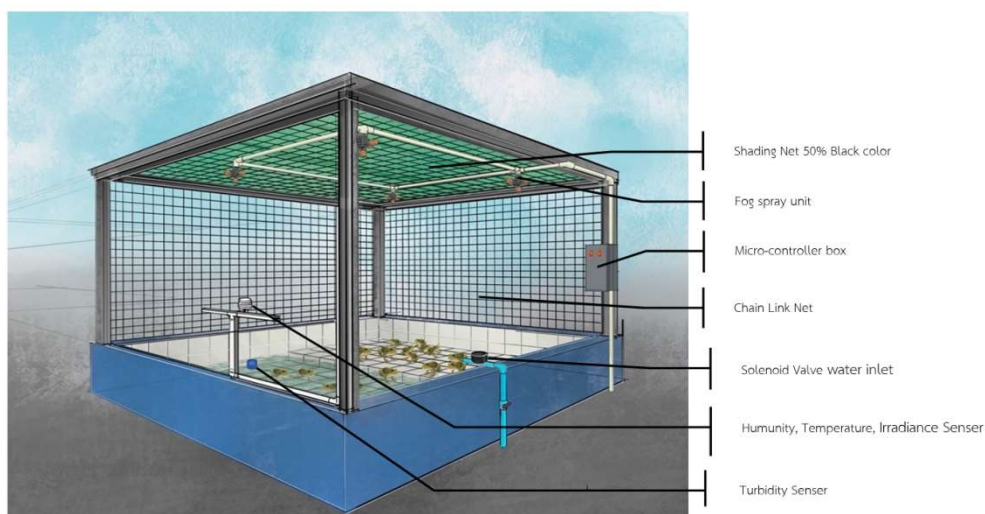


ภาพที่ 3 การควบคุมระบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาต้นแบบอัจฉริยะ

จากกลไกการควบคุมระบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะ การศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกตัวแปรทางแสงเพื่อควบคุมความเข้มแสงให้อยู่ในช่วง 900 Lux – 2,100 Lux [18] ใช้ระบบประมวลผลที่สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดได้แก่ เซ็นเซอร์วัดค่าความขุ่น เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ มีอุปกรณ์ตัวกระทำ (Output) ที่ทำการสั่งงานรีเลย์เพื่อเปิด-ปิดสวิทช์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องปั๊มน้ำแรงดันฟ่นละอองน้ำ เมื่อระบบประมวลผลได้รับข้อมูลป้อนเข้า (Input) จากเซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศค่าใดค่าหนึ่งเกินจากค่าที่เหมาะสมก็จะสั่งให้ปั๊มเปิดการทำงานฟ่นละอองน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิอากาศให้อยู่ในช่วง 23 องศาเซลเซียส - 36 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 65% - 80% เมื่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้ว ระบบก็จะตัดการทำงานของปั๊มแรงดันฟ่นละอองน้ำ อีกทั้งหากระบบประมวลผลที่กล่องควบคุมได้รับข้อมูลป้อนเข้า (Input) จากเซ็นเซอร์วัดค่าความขุ่นแสดงให้เห็นว่าค่าความขุ่นเกินจากค่าที่เหมาะสมก็จะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยอัตโนมัติ โดยระบบประมวลผลจะสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve outlet) ที่สะดือบ่อเปิดระบายน้ำเสียออกจากบ่อพร้อมกับสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve inlet) ด้านน้ำเข้าเปิดให้น้ำดีไหลเข้าบ่อจนเมื่อระบบประมวลผลรับค่าป้อนเข้า (Input) จากเซ็นเซอร์ความขุ่นวัดได้ว่าค่าอยู่ในช่วง 5 NTU - 10 NTU ระบบประมวลผลจะสั่งการไปที่โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve Inlet and outlet) ทั้งสองให้ปิดน้ำ โดยสามารถแสดง Layout จุดติดตั้งอุปกรณ์ในฟาร์มอนุบาลลูกกบนาต้นแบบอัจฉริยะดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ฟาร์มอนุบาลลูกกบนาต้นแบบอัจฉริยะ



ภาพที่ 5 ด้านข้างของฟาร์มอนุบาลลูกกบนาต้นแบบอัจฉริยะ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของการฟาร์มอนุบาลลูกกบนาแบบดั้งเดิมของแผนกวิชาประมง วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครศรีธรรมราช พบว่าความเป็นต่างของแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าสูงระหว่าง 411-512 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มแสงธรรมชาติกับอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่ความเข้มแสงธรรมชาติกับอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษา

ความสัมพันธ์ของโครงสร้างสิ่งแวดล้อมธรรมชาติของธาดา ประทีป ณ ถลาง [19] อีกทั้งผลจากการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของเครื่องมือตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโครงสร้างสิ่งแวดล้อมจากสถาบันบันทึกข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยขนาดเล็กที่ผู้ศึกษาได้ออกแบบขึ้นมาสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ความแม่นยำเที่ยงตรงตามหลักการ Test Accuracy Ratio Level Standards [15] จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลที่ได้จากศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีความเหมาะสมสำหรับนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะต้นแบบได้

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของลูกกบนาโดยการศึกษารเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลแบบดั้งเดิมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 4 วันและแบบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาช่วงการรองรับได้ (carrying capacity) ของลูกกบนาว่าสามารถดำรงชีวิตได้ในช่วงของสภาวะแวดล้อมขนาดใด ผลการศึกษาพบว่าที่น้ำหนักและความยาวของลูกกบนาแบบดั้งเดิมมากกว่าการอนุบาลแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในการออกแบบฟาร์มอนุบาลลูกกบนาแบบอัจฉริยะนั้นจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อให้ลูกกบนามีอัตราการรอดและน้ำหนักมาก ถึงแม้พบว่าความเป็นต่างของแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าสูงแต่ไม่กระทบต่อการอนุบาลลูกกบนา และจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้ความสำคัญกับค่าความขุ่นซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่าความขุ่นของการอนุบาลแบบดั้งเดิมและแบบไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่ในช่วง 19.10 – 75.04 NTU ซึ่งเกินค่าความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกบนาที่อยู่ในช่วง 5-10 NTU [16, 22] แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแม้ค่าความขุ่นของการอนุบาลแบบไม่ถ่ายน้ำมีค่าการรวมถึงค่าความเป็นต่างของแหล่งน้ำเกินกว่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมแต่ลูกกบนาที่ยังสามารถดำรงชีวิตและเจริญเติบโตได้ดี เพราะด้วยการจัดการฟาร์มอนุบาลลูกกบนาอัจฉริยะ ด้วยการนำเทคโนโลยีอัจฉริยะเข้ามาบริหารฟาร์ม ใช้ระบบอัตโนมัติเข้ามาจัดการ ฝ้าระวังจัดเก็บข้อมูล ใช้ทรัพยากรในพื้นที่สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม มีการปรับสภาพแวดล้อมการเลี้ยง เปลี่ยนน้ำให้เหมาะสมกับการอนุบาล ซึ่งนำไปสู่เทคโนโลยีการเกษตรเชิงธุรกิจในอนาคตคือ ได้ผลิตผลมาก คุณภาพและความแม่นยำสูงในปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ลดภาระงานของคนในต้นทุนที่เหมาะสม เห็นได้วาระบบเทคโนโลยีฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm system) เป็นประโยชน์มากต่อการพัฒนาประเทศไทยที่การเกษตรเป็นอาชีพหลักของประชาชน เป็นก้าวสำคัญในการใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของการทำการเกษตรสมัยใหม่หรือเกษตรอัจฉริยะที่เป็นรูปธรรม [20] เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สอดคล้องกับ Thailand 4.0 โมเดล พัฒนาเศรษฐกิจใหม่ช่วยส่งเสริมในด้านการเกษตร เปลี่ยนจากการเกษตรแบบดั้งเดิม (Traditional Farming) ในปัจจุบัน ไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ ที่การบริหารจัดการฟาร์มด้วยเทคโนโลยี (Smart Farming) [21] ช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกรให้สามารถส่งมอบผลผลิตที่มีคุณภาพ และอาหารปลอดภัยให้กับผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศต่อไป

References

- [1] American Museum of Natural History. (1998). *Amphibian Species of the World 6.0, an Online Reference*. Available from <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>. Accessed date: 20 August 2022.
- [2] Chewapreecha, J. (1991). Thai frogs go abroad. *INVESTMENT PROMOTION JOURNAL*, 2(1), 25-27. (in Thai)
- [3] Mualluangsong, P., et al. (2014). Frog production and marketing in Muang district, Loei province. *Prawarun Agricultural Journal*, 11(1), 65-72. (in Thai)
- [4] Department of Fisheries. (2020). *Fishery production situation*. Available from <https://>

- www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/viewactivities/1408/85332. Accessed date: 20 August 2022. (in Thai)
- [5] Thailand Board of Investment. (2020). *Report on investment promotion conditions according to the investment promotion policy*. Available from https://www.boi.go.th/index.php?page=statistics_condition_promotion&language=th. Accessed date: 20 August 2022. (in Thai)
- [6] National Economic and Social Development Plan No. 12 (2017-2021). (2015, 30 December). *Royal Gazette*. Vol. 133 Chapter 115 p.1. (in Thai)
- [7] NECTEC. (2018). *Aqua Grow: An intelligent system for economic aquaculture*. Available from <https://www.nectec.or.th/innovation/innovation-hardware-electronics/aquagrow.html>. Accessed date: 20 August 2022. (in Thai)
- [8] Nguyen, T. H. P. (2015). *Effects of temperature and salinity on growth performance in cultured Tra catfish (Pangasianodon hypophthalmus) in Vietnam*, (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- [9] Pinpirom, S. & Ganmanee, M. (2012). Study on water quality parameter in freshwater pond for management effective. In *The 50th Kasetsart University Annual Conference* (p. 562-573). 31 January – 1 February, 2012, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- [10] Jindaphan, N. & Lianying, N. (2008). *Effect of Temperature on Arowana (Scleropages formosus Muller and Schlegel, 1844) Larvae Development* (Research reports). Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)
- [11] Uppanunchai, A., et al. (2017). The Optimal Nursing Temperature in Producing *Rana rugulosa* (Wiegmann, 1935). *Journal Of Agricultural Research And Extension*, 34(3), 31-40. (in Thai)
- [12] Worasern, W., et al. (2019). Effect of Temperature on Reproductive Performance of Crossbred Frogs in the Winter Season. *Prawarun Agricultural Journal*, 16(2), 339 – 348. (in Thai)
- [13] Kanjanachatee, K. & Janekarn, V. (1996). *The study of frog breeding: Food and Technique of feeding in different stages*. (Research reports). Phuket: Prince of Songkla University. (in Thai)
- [14] Thip-uten, T., et al. (2019). Frog raising condition and diseases finding in Sakon Nakhon and Nakhon Phanom Provinces. *Journal of Fisheries Technology Research*, 13(1), 105-116. (in Thai)
- [15] Suttanarak, J. & Chusuwan, S. (2015). *Calculation of volumetric calibration results*. revised edition. Nonthaburi: Central Bureau of Weights & Measures. (in Thai)
- [16] La-ongsirirong, N. (2019). *Guide to water analysis for aquaculture and farm standard certification*. Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)
- [17] Suraphan, T. & Tansangworn, N. (2020). *Industrial communication using Modbus protocol*. Pathumthani: National Electronics and Computer Technology Center. (in Thai)
- [18] Treepolaugson, S. & Intaravicha, N. (2021). Effect of Light Intensity on Nursing of Frog Tadpoles (*Hoplobatrachus rugulosus*). *Journal of Vocational Institute of Agriculture*, 5(1), 1-8. (in Thai)

Research Article

Journal of Vocational Education in Agriculture Vol. 7 • No. 2 • July – December 2023

- [19] Pradip na talang, T. & Rakthai, S. (2022). Natural Light Intensity Model of Surat Thani Province. *Journal of Vocational Institute of Agriculture*, 6(1), 23-38. (in Thai)
- [20] Patama, N. (2021). *The development of Smart Farming Systems in Thailand*. Bangkok: Office of the Secretariat of the Senate.
- [21] Pothong, T., et al. (2019). Development of Smart Farming Service System for Smart Farmer using FOSS4G and IoT. *Naresuan Agriculture Journal*, 16(2), 10-17. (in Thai)
- [22] Boyd, C. E. & Lichtkoppler, F. (1979). *Water quality management for pond fish culture*. Alabama: Auburn University.