



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์อัจฉริยะในระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก

Implementation of smart robotic arms in small betta aquaculture systems

พีรพล จันทร์หอม¹⁾ สุรเทพ นิลนนท์^{2)*} วิภาดา วงศ์สุริยา¹⁾ ภีรศักดิ์ เผ่าผาง¹⁾ และ พัฒนพงษ์ สิ้นธุ์ไพฑูรย์¹⁾Peerapon Chanhom¹⁾ Surathep Nilnond^{2)*} Wipada Wongsuriya¹⁾ Peerasak Phaophang¹⁾and Pattanapong Sinpaithoon¹⁾¹⁾หน่วยวิจัยระบบอัจฉริยะและการแปลงผันพลังงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

²⁾ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์¹⁾Smart System Research and Energy Conversion Research Unit Faculty of Industrial Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

²⁾Electrical Engineering Department, Kasetsart University.

Received: 9 December 2021

Revised: 25 April 2022

Accepted: 26 April 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลากัดในขวดโหล ด้วยการประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์แบบโอเพ่นซอร์ส ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) การออกแบบระบบเปลี่ยนน้ำและให้อาหาร 2) การปรับปรุงซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำ สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงาน ได้กำหนดกรณีศึกษาขึ้นมา 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 เป็นการทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ส่วนกรณีที่ 2 เป็นการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร และกรณีที่ 3 เป็นการทดสอบการทำงานในภาพรวม ผลการทดสอบการทำงานตามโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์นั้น สามารถควบคุมตำแหน่งและทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์ ระบบควบคุม การเพาะเลี้ยงปลากัด ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This research paper presents the development of a small betta aquaculture system. The purpose of this research is to reduce water-changing and food-feeding time by using the open-source robotic arm with the designed equipment. The development consists of 2 parts: 1) the designing of water-changing and the food-feeding equipment. and 2) the software enhancements to control the robot arm to move more accurately. There are three case studies: Case 1 to test the accuracy of horizontal motion, Case 2 to test the functionality of the water-changing and food-feeding equipment, and Case 3 to test the overall functionality. The test results show the command and position control performance as well as the integration with the developed equipment which can work according to the specified conditions.

Keywords: Robot arm: Control system: Betta aquaculture: Micro controller

*ติดต่อ: E-mail: surathep.n@ku.th เบอร์โทรศัพท์: 081-741-6449

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตปลาสวยงามที่เป็นที่ต้องการของตลาดโลกอยู่หลายชนิด ปลาสวยงามที่มีมูลค่าส่งออกอยู่อันดับที่ 1 ของไทย คือ ปลากัด ซึ่งจากข้อมูลสถิตินำเข้าและส่งออกสัตว์น้ำ ผ่านสนามบินสุวรรณภูมิปี พ.ศ.2561 [1] ปลากัดมีปริมาณการส่งออกสูงที่สุด คิดเป็นมูลค่า 11,896,273.70 บาท และในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 จากการประชุมคณะรัฐมนตรี (ครม.) มีมติเห็นชอบให้ปลากัดไทยเป็นสัตว์น้ำประจำชาติ [2] โดยปลากัดไทยที่เสนอให้เป็นสัตว์น้ำประจำชาติมีชื่อว่า *Betta splendens* ชื่อสามัญ “Siamese Fighting Fish” หรือ “Siamese Betta”

โดยมีนโยบายส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและการสร้างนวัตกรรมด้านการเพาะพันธุ์ ซึ่งนำไปสู่การค้าเชิงพาณิชย์และก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ การเพาะเลี้ยงปลากัดไทยจึงกลายเป็นอาชีพที่สร้างความมั่นคงให้กับชุมชนได้

เทคนิคการเพาะเลี้ยงปลากัดเพื่อให้ได้คุณภาพดีสำหรับส่งออกในปริมาณมาก จำเป็นจะต้องแยกเลี้ยงจำนวน 1 ตัวต่อ 1 ขวดแก้วขนาดเล็กเพื่อป้องกันปลากัดกัดกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งฟาร์มเพาะเลี้ยงปลากัดต้องใช้เวลาเปลี่ยนน้ำและให้อาหาร 3-4 ชั่วโมงต่อปลากัด 2,000 ตัว



รูปที่ 1 การเพาะเลี้ยงปลากัดเพื่อการส่งออกในปัจจุบัน [3]

การเพาะเลี้ยงปลากัดลักษณะดังกล่าว เกษตรกรจะใช้เวลาค่อนข้างมากในการเปลี่ยนน้ำและให้อาหาร การพัฒนาเครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกในขั้นตอนการเพาะเลี้ยงนี้ จะช่วยลดเวลาในการทำงานและทำให้เกษตรกรสามารถนำเวลาที่เหลือไปศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์ปลากัดให้ดียิ่งขึ้นได้อีก โดยจากการศึกษาข้อมูลที่ผ่านมา การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงปลากัดมักจะเน้นไปที่การพัฒนาอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เช่น การประยุกต์ใช้ขวดน้ำดื่มพลาสติกดัดแปลงเป็นขวดใสไร้แรงดันแบบบีบแทนการหยอดด้วยเข็มนหรือการบากคอขวดเพื่อช่วยในการเปลี่ยนน้ำได้ไวขึ้น เป็นต้น ซึ่งในส่วนนี้นั้นยังสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้

ปัจจุบัน หลายงานวิจัยมีการประยุกต์อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติแบบโอเพนซอร์ส (Open-source) อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) รวมถึงระบบที่พัฒนาขึ้นเอง มาใช้ในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากยิ่งขึ้นเช่น การใช้หุ่นยนต์ในการทำความสะดวกตาข่ายที่ใช้เลี้ยงปลาเพื่อลดเวลาการเลี้ยงดูและการสูญเสีย [4] การประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์ประเภท Cartesian ช่วยฉีดวัคซีนเพื่อรักษาสัตว์น้ำ

ที่ป่วย [5] และการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ร่วมกับระบบ IoT เพื่อช่วยตรวจสอบและแยกปลาป่วยออกจากพื้นที่เลี้ยง [6]

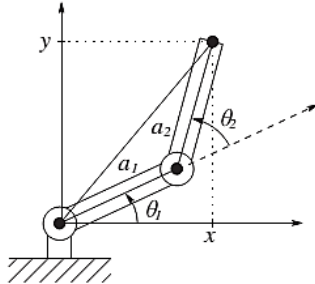
จากที่กล่าวมาในช่วงต้น ระบบควบคุมอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาและเพิ่มผลผลิตในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากระบบควบคุมอัตโนมัติในปัจจุบัน มีราคาที่ไม่สูงมากนัก และถูกพัฒนาให้มีความเสถียร สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก โดยประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์แบบโอเพนซอร์ส ทำงานร่วมอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ในงานวิจัย เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการในการเพาะเลี้ยงปลากัด รวมถึงปรับปรุงระบบควบคุมให้มีความแม่นยำ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบเอาไว้ ซึ่งขั้นตอนในการพัฒนาจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2. วิธีการวิจัย

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติและข้อจำกัดของแขนหุ่นยนต์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย [7] เพื่อกำหนดพื้นที่ในการทำงานและคำนวณหาจำนวนขวดในระบบการเพาะเลี้ยง จากนั้นจะอธิบายแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา รวมถึงวิธีการปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และส่วนสุดท้ายจะนำเสนอกรณีศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การคำนวณจลศาสตร์ผกผันและคุณสมบัติของแขนหุ่นยนต์

เนื่องจากแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Articulated Manipulator (RRR) [9] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แขนหุ่นยนต์และโครงสร้างแขนหุ่นยนต์ [8]

ซึ่งในการทดลองนั้น เราทราบพิกัดของขดโหลปลายกีด แต่ยังไม่ทราบค่ามุมแต่ละข้อของแต่ละแขนกล ดังนั้นจึงต้องใช้ในการคำนวณแบบจลศาสตร์ผกผัน (Inverse Kinematics) [8] ในการคำนวณหาค่ามุมของข้อต่อต่าง ๆ ของแขนกล เมื่อกำหนดตำแหน่งและทิศทางของปลายแขน ที่สัมพันธ์กับฐานมาให้โดยใช้สมการ (1-4)

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} := D \quad (1)$$

$$\sin \theta_2 = \pm \sqrt{1 - D^2} \quad (2)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D} \quad (3)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(y/x) - \tan^{-1}\left(\frac{a_2 \sin \theta_2}{a_1 + a_2 \cos \theta_2}\right) \quad (4)$$

และใช้หลักการคำนวณหาจาโคเบียนผกผัน (Inverse Jacobian, J^{-1}) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของปลายแขน ($\dot{x}$) และความเร็วเชิงมุมของแต่ละข้อต่อ ($\dot{\theta}$) ดังแสดงใน (5)

$$\dot{\theta} = J^{-1} \dot{x} \quad (5)$$

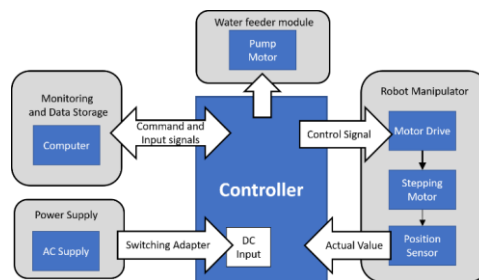
โดย J^{-1} หาได้จากสมการ (6)

$$J^{-1} = \frac{1}{a_1 a_2 \sin \theta_2} \cdot \begin{bmatrix} a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ -a_1 \cos \theta_1 - a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & -a_1 \sin \theta_1 - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

นอกจากนี้โครงสร้างแขนหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้ต้องแข็งแรงและมั่นคง แต่มีขนาดเล็กและสามารถควบคุมได้ง่าย ดังนั้น แขนหุ่นยนต์จึงถูกออกแบบด้วยโปรแกรมออกแบบสามมิติและขึ้นรูปต้นแบบด้วยเครื่อง Rapid-prototype ด้วยวัสดุพลาสติก PLA ซึ่งมีความแข็งแรง แขนหุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยสเต็ปมอเตอร์รุ่น NEMA 17 มีแรงบิดสูงสุด 42 นิวตัน/ตร.ซม. โดยมีแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งาน 12 โวลต์ ส่วนมือจับ (Gripper) ได้ออกแบบให้เหมาะกับการจับวัตถุและเคลื่อนที่ในแนวราบ สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมได้ ดังรูปที่ 2 ในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ จะประกอบไปด้วย มอเตอร์, ลิมิทสวิตช์, ชุดควบคุม (Arduino 2560) และมอเตอร์ไดรฟ์บอร์ด (RAMPS 1.4) ส่วนภาพรวมของระบบการควบคุมของแขนหุ่นยนต์และ

อุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารจะแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน้าที่แสดงผลการทำงาน, จัดเก็บข้อมูลและส่งคำสั่งและสัญญาณไปยังชุดควบคุม โดยชุดควบคุมจะทำการสัญญาณ

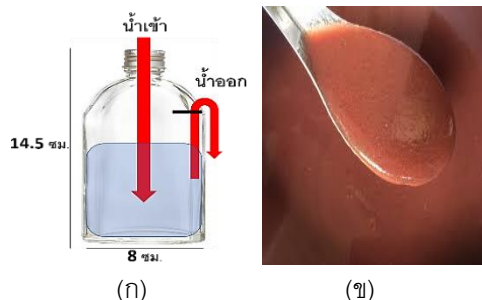
ควบคุมไปยังมอเตอร์โรตารีที่แขนหุ่นยนต์ให้ทำการขับเคลื่อนแต่ละแกนให้เคลื่อนที่ โดยส่งสัญญาณที่วัดได้จาก encoder กลับไปยังชุดควบคุมเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาด



รูปที่ 3 ระบบการควบคุมของแขนหุ่นยนต์ (Robotic control system)

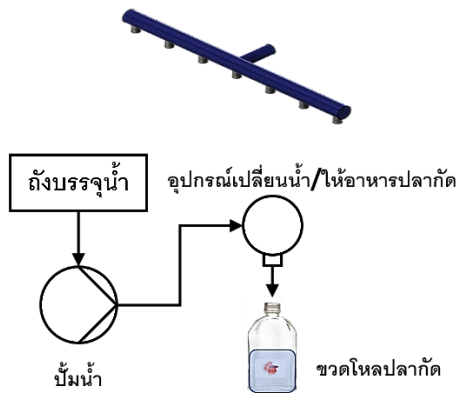
2.2 การพัฒนาอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา

การเปลี่ยนน้ำโดยทั่วไปเกษตรกรจะทำการปล่อยน้ำใหม่เข้าไปดันน้ำเก่าออกผ่านรอยบากข้างขวดดังรูปที่ 4 (ก) โดยจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำเป็นประจำทุกๆ 2-3 วัน เพื่อช่วยให้ปลากัดมีความสดชื่น ส่วนการให้อาหารปลากัดนั้น นิยมให้ไรแดงน้ำจืดดังรูปที่ 4 (ข) ด้วยการหยอดทีละขวด โดยจะให้อาหารวันละ 2 เวลา เพื่อให้ปลากัดมีความสมบูรณ์

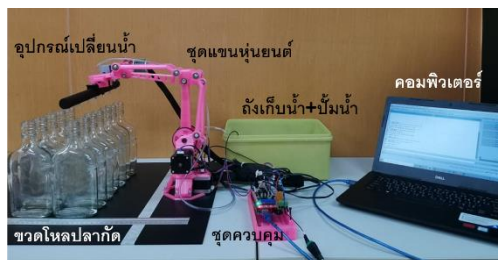


รูปที่ 4 (ก) การเปลี่ยนน้ำแบบ Overflow และ (ข) ไรแดงน้ำจืด

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารเพื่อใช้งานร่วมกับแขนหุ่นยนต์ โดยเลียนแบบวิธีการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารดังกล่าว ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 300 มม. เจาะรูใส่ท่อพลาสติกขนาดเล็กจำนวน 7 ท่อ แต่ละท่อห่างกัน 40 มม. ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถเปลี่ยนน้ำและให้อาหารได้ครั้งละหลายขวด ดังรูปที่ 5 โดยอุปกรณ์ที่ออกแบบจะติดตั้งที่ปลายแขนหุ่นยนต์ เรียกได้ว่าเป็น End-of-arm Tooling (EOAT) ประเภทหนึ่ง โดยจะเชื่อมต่อกับท่อฟีด (Feeder tube) และปั้มน้ำขนาดเล็กที่วางอยู่ในถังเก็บน้ำ ส่วนแขนหุ่นยนต์จะเชื่อมต่อกับชุดควบคุมและคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อระหว่างแขนหุ่นยนต์กับอุปกรณ์ต่างๆ จะแสดงดังรูปที่ 5 และ 6



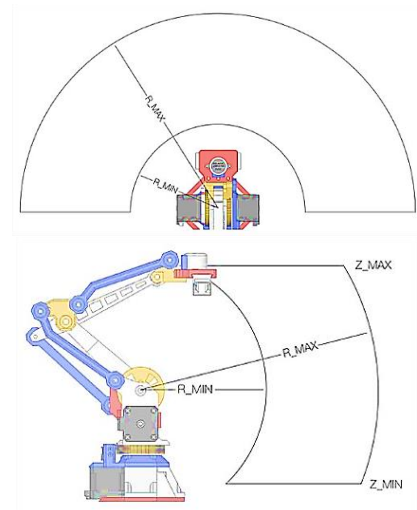
รูปที่ 5 อุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา และ
Fluid Diagram



รูปที่ 6 ระบบเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา

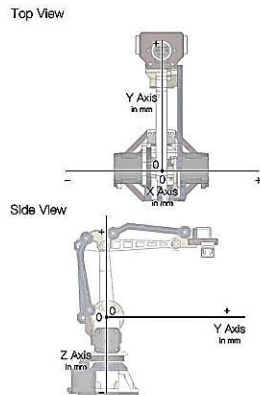
2.3 ขอบเขตพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบเพาะเลี้ยงปลากัด

ในงานวิจัยนี้แขนหุ่นยนต์จะมีขอบเขตการกวาดวงแคบ (R_{MIN}) และวงกว้าง (R_{MAX}) เท่ากับ $[77.5024 \text{ มม.}, 226.0938 \text{ มม}]$ ส่วนขอบเขตการเคลื่อนที่แกน Z (Z_{MIN}, Z_{MAX}) อยู่ที่ $[-140 \text{ มม.}, 150 \text{ มม.}]$ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์

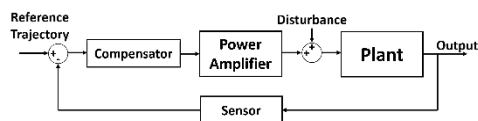
การคำนวณขอบเขตพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบเพาะเลี้ยงปลากัดนั้น เริ่มจากการหาจำนวนสเต็ปที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Total traveling step) ก่อน ด้วยการกำหนดให้ ลิ้มิตสวิทช์ (Limit switch) ในแกน X เป็นจุดเริ่มต้น (แกน X, Y, และ Z แสดงในรูปที่ 7) จากนั้นส่งคำสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่จนสัมผัสลิ้มิตสวิทช์แกน X (เซตเป็นค่าเริ่มต้น 0) จากนั้นสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปจนสุดขอบเขตการทำงาน บันทึกค่าการเคลื่อนที่ที่อ่านได้ ทำเช่นเดียวกับแกน Y และ Z ก็จะได้ จำนวนสเต็ปที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนคือ 1020, 1900, และ 3640 สเต็ป ตามลำดับ จากนั้นกำหนดตำแหน่ง Home position ในที่นี้กำหนดให้แขนหุ่นยนต์ที่ 1 กับ 2 ทำมุมตั้งฉาก (90°) ดังรูปที่ 8 ดังนั้น ในระบบเพาะเลี้ยงปลากัดของงานวิจัยนี้ จะมีตำแหน่ง Home ที่พิกัด (0, 195, 140) และมีขอบเขตพื้นที่การทำงานประมาณ 152 ตารางเซนติเมตร หรือสามารถวางขวดเพาะเลี้ยงปลากัดประมาณ 14 ขวด



รูปที่ 8 ตำแหน่ง Home position

2.4 การปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์

เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารเพื่อใช้งานร่วมกับแขนหุ่นยนต์ จึงต้องปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์จากระบบเดิม เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ คือ ตัวชดเชยจะรับค่าความผิดพลาด ระหว่างเส้นทางอ้างอิงและเอาต์พุตที่อ่านค่าได้ จากนั้นจึงสร้างสัญญาณผ่านตัวขยายกำลังไปที่แขนหุ่นยนต์เพื่อลดค่าความผิดพลาดให้เป็นศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

งานวิจัยนี้ใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation) มาช่วยในการประมาณค่าตำแหน่ง y โดยสามารถหาได้จาก (7)

$$y = y_1 + \frac{(x-x_1)(y_1-y_0)}{x_1-x_0} \quad (7)$$

โดยที่ x_0 และ y_0 คือตำแหน่งเริ่มต้น
 x_1 และ y_1 คือตำแหน่งที่สุดท้าย
 x คือ จุดที่ใช้เริ่มประมาณค่า
 y คือ ตำแหน่งที่ได้จากการประมาณค่า

2.4.1 การเขียนโปรแกรมควบคุม

การเขียนโปรแกรมควบคุมจะใช้ภาษา C+ ด้วย Arduino Software (IDE) [9] ในส่วนของโค้ดสำหรับการเขียน Arduino เพื่อกำหนดค่า Channel และ Parameter ต่าง ๆ ให้แขนหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบเอาไว้ แสดงรายละเอียดได้ตามตารางที่ 1 และ 2

2.4.2 G code/ M code

การทำงานของแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา มีขั้นตอนแสดงตาม Flow Chart รูปที่ 10 และเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ YAT ซึ่งเป็นโอเพนซอร์ส [10] ในการสร้าง G-code และ M-code เพื่อสั่งให้แขนหุ่นยนต์ทำงานตามที่ต้องการ โดย YAT ได้ถูกออกแบบเพื่อใช้เชื่อมต่อการทำงานอุปกรณ์ด้วยโปรโตคอลต่าง ๆ เช่น RS-232/422/423/485 รวมถึง TCP/IP Client/ Server/ AutoSocket, USB Ser/HID เป็นต้น

ตารางที่ 1 Channel ควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์

Axis	Channel number			
	Stepper	Enable drive	Max axis	Min axis
X	54	38	2	3
Y	60	56	15	14
Z	46	62	19	18

ตารางที่ 2 Channel ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

Water Pump	Fan
63	9

ตัวอย่างการเขียน G-code ให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่ง Home (0,195,140) ไปยังตำแหน่ง A (0,200,40) ไปยังตำแหน่ง B (0,295,40) และทำการเปิดปั๊มเป็นเวลา 20 วินาทีจากนั้นปิดปั๊ม มีรายละเอียดดังนี้

G0Z-100 :ให้ปลายแขนเคลื่อนที่ลงไปที่ Z=-100

G0Y200 :ให้ปลายแขนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปที่

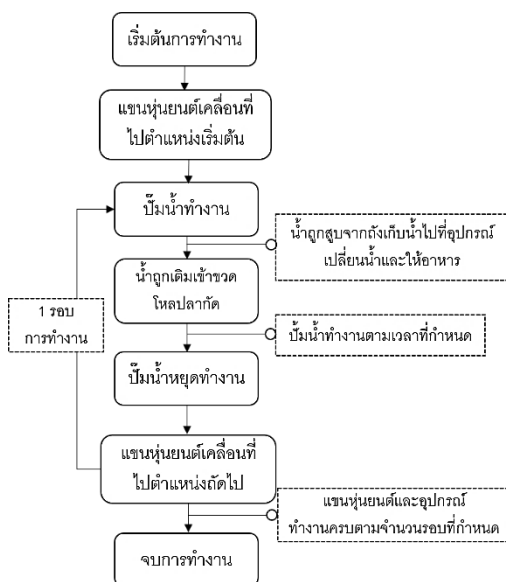
Y=200 (จุด A)

G0Y295 :ให้ปลายแขนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปที่

Y=295 (จุด B)

M1G4S20 :สั่งปั๊มน้ำทำงานเป็นเวลา 20วินาที

M2 :สั่งปั๊มน้ำหยุดทำงาน



รูปที่ 10 Flow Chart การทำงานของการทำงานของแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์

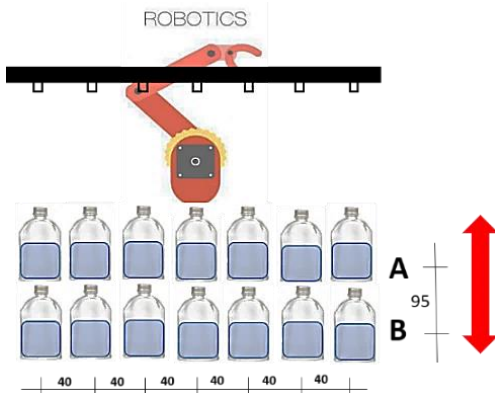
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

เพื่อแสดงสมรรถนะในการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย จึงได้กำหนดกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 ทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ส่วนกรณีที่ 2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร และกรณีที่ 3 ทดสอบการทำงานในภาพรวม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 กรณีที่ 1 การทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ

กรณีศึกษานี้แบ่งเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 การเคลื่อนที่ในแนวราบ (แกน Y) ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ และการทดลองที่ 2 การเคลื่อนที่ในแนวราบหลังติดตั้งอุปกรณ์ ทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่ก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อนำมาพิจารณาความแม่นยำในการเคลื่อนที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองที่ 1 เริ่มต้นจากการเรียงขวดเพาะเลี้ยงปลากัดในขอบเขตพื้นที่การทำงานตามที่กำหนดเอาไว้ในหัวข้อ 2.3 ซึ่งแถว A และ B มีระยะห่างกัน 95 มม. ดังแสดงในรูปที่ 11 จากนั้นจึงเขียนคำสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวราบสลับไป-มา ระหว่างแถว A และ B โดยกำหนดให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ระหว่างแถว A และ B อยู่ที่ 31.66 มม.ต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ทำให้โครงสร้างเสียหาย



รูปที่ 11 ขอบเขตการทำงาน

ในการทดลองนี้ จะกำหนดให้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ (โดยเคลื่อนที่จากแถว A ไปแถว B และจากแถว B กลับมาที่แถว A คิดเป็น 1 รอบ) และจับเวลาทำงานตั้งแต่เริ่มทำงานจนสิ้นสุดคำสั่ง เพื่อเก็บข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ สำหรับคำนวณหาความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนตาม

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ค่าที่วัดได้จากการทดลอง} - \text{ค่าจริง})}{\text{ค่าจริง}} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = \frac{\text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}} \quad (9)$$

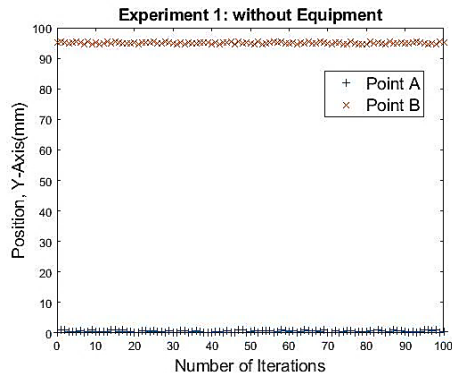
$$\text{ความแปรปรวน} = \frac{\sum (\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าเฉลี่ย})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}} \quad (10)$$

โดยข้อมูลที่ได้อาจจะแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ว่ามีมากน้อยเพียงใด

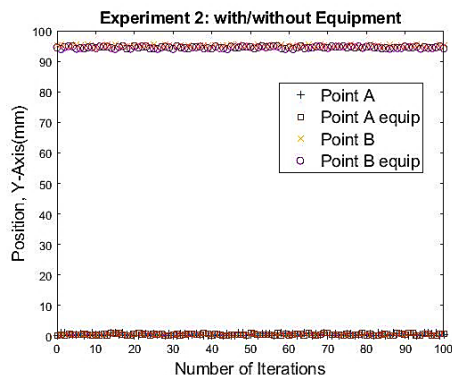
การทดลองที่ 2 มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 แต่จะมีการติดตั้งอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา ซึ่งตัวอุปกรณ์จะมีน้ำหนักรวมประมาณ 65 กรัม จากนั้นจึงบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่เพื่อคำนวณหาความคลาดเคลื่อน และทำการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

จากการทดลองที่ 1 เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ครบจำนวน 100 รอบ ตามที่กำหนดไว้ ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบโดยรวม จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อย (0 ที่ตำแหน่งแถว A และ 95 มม. ที่ตำแหน่งแถว B) โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 1.75 (แถว A) และ 0.005 (แถว B)

ในส่วนของการทดลองที่ 2 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบหลังครบจำนวน 100 รอบ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าเมื่อติดตั้งอุปกรณ์เข้าไป การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบจะมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไว้มากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 4.86 (แถว A) และ 0.57 (แถว B) โดยค่าความแปรปรวน, ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนที่ของการทดลองที่ 1 และ 2 สรุปได้ตามตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ ยังอยู่ในช่วงที่รับได้ เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอยู่ในช่วง ± 0.5 มม. ซึ่งน้อยมากสำหรับการใช้งานที่ไม่คำนึงถึงความแม่นยำมากนัก จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังเห็นได้จากความแม่นยำระหว่างก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์จะมีความคลาดเคลื่อนน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ในงานวิจัยได้ปรับปรุงระบบควบคุมในส่วนของการควบคุมความเร็วให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งาน



รูปที่ 12 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบระหว่างแถว A และ B ก่อนติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 13 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบระหว่างแถว A และ B หลังติดตั้งอุปกรณ์

ตารางที่ 3 ค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าเฉลี่ย (Mean) จากการทดลองที่ 1 และ 2

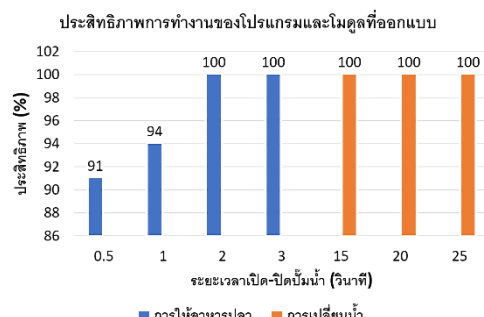
การทดลองที่	ตำแหน่ง	ความแปรปรวน (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1	A	0.085	0.175	1.75
	B	0.084	95.005	0.005
2	A	0.084	0.486	4.86
	B	0.082	94.452	0.57

3.2 กรณีที่ 2 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร

กรณีศึกษาที่ 2 เป็นการทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของชุดปั๊มที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการเปิด-ปิดของชุดปั๊ม ได้ตามที่ต้องการแบบไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้กระบวนการในการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารนั้น ปกติจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์และการทำงานของชุดปั๊มที่คล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันเฉพาะระยะเวลาในการเปิด-ปิด ของปั๊มน้ำ โดยการให้อาหารจะใช้เวลานานกว่าการเปลี่ยนน้ำ ดังนั้น ในการทดสอบนี้ จึงกำหนดให้ระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานโดยกำหนดให้ปั๊มเปิด-ปิด ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อบันทึกข้อมูลสำหรับพิจารณาความแม่นยำในการทำงานและข้อจำกัดในการทำงาน

ลักษณะการทดสอบกรณีที่ 2 นี้จะคล้ายกับกรณีที่ 1 โดยตอนเริ่มต้น กำหนดให้ตัวอุปกรณ์อยู่ที่ตำแหน่งแถว A จากนั้นตัวควบคุมจะสั่งงานให้ปั๊มน้ำทำงาน เพื่อส่งน้ำผ่านอุปกรณ์ไปยังขวดโหลเป็นเวลา 25 วินาที จากนั้นจึงสั่งงานให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนไปยังแถว B และสั่งงานให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อส่งน้ำผ่านอุปกรณ์ไปยังขวดโหลอีกครั้งเป็นเวลา 25 วินาที เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแถว A และ B แล้ว จึงสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่กลับไปยังแถว A (นับเป็น 1 รอบ) โดยจะทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 100 รอบ จากนั้นจะทำการทดลองซ้ำแบบเดิม แต่ลดระยะเวลาเปิด-ปิดของปั๊มลงเป็น 20 15 3 2 1 และ 0.5 ตามลำดับ

ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำ และการให้อาหารแสดงในรูปที่ 14 ที่เวลา 2 – 25 วินาที ชุดปั๊มจะสามารถตอบสนองต่อคำสั่งของตัวควบคุมได้ร้อยละ 100 (จากการทดสอบ 100 รอบ) อย่างไรก็ตาม ที่เวลา 1 – 0.5 วินาที ชุดปั๊มจะตอบสนองต่อคำสั่งของตัวควบคุมได้ลดลง โดยมีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 94 และ 91 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากชุดปั๊มน้ำที่ใช้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งมาจากตัวควบคุมต่ำทำให้ตอบสนองต่อสัญญาณจากตัวควบคุมได้ช้าตามไปด้วย ดังนั้น ระยะเวลาเปิด-ปิดปั๊มน้ำสำหรับให้อาหารปลาในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้ไม่ต่ำกว่า 2 วินาที



รูปที่ 14 ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ออกแบบ

3.3 กรณีที่ 3 การทดสอบการทำงานในภาพรวม

กรณีศึกษา นี้ เป็นการทดสอบความสามารถในการประสานการทำงานระหว่างแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีไฟล์ซอร์ตการทำงานตามรูปที่ 9 โดยหลักการที่ใช้หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปิด-ปิดปั๊มน้ำคือ ใช้การดูปริมาณน้ำและอาหารที่เหมาะสมถ้ามากเกินไปจะ

เป็นการสิ้นเปลืองและถ้าน้อยเกินไปการเปลี่ยนน้ำก็ยังมีน้ำเก่าเหลืออยู่หรือปลาได้รับอาหารน้อยเกินไป โดยระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนน้ำคือประมาณ 20 วินาที และระยะเวลาในการให้อาหารปลากัดคือประมาณ 2 วินาที โดยประมาณเวลาในการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลากับพื้นที่ใช้งาน (การทดสอบ 1 รอบ และ 100 รอบ) แสดงดังตารางที่ 4

4. สรุป

งานวิจัยได้พัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) การออกแบบระบบอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหาร

ตารางที่ 4 ขอบเขตพื้นที่การทำงาน และเวลาในการเปลี่ยนน้ำ/ให้อาหารปลาของแขนหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้น

จำนวนขวด	พื้นที่ใช้งาน (ตร.ซม)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	
		เปลี่ยนน้ำ	ให้อาหาร
14	152	43.01	5.14
1400	15200	4356	516

2) การปรับปรุงซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ ผ่านการเขียนคำสั่ง G-Code และ M-Code ด้วยซอฟต์แวร์ YAT ตัวอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้น ออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการเพาะเลี้ยงปลากัดที่นิยมใช้กันทั่วไป ทั้งในส่วนของการเปลี่ยนน้ำและการให้อาหารปลา และเพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของระบบ งานวิจัยได้กำหนดกรณีศึกษาขึ้นมา 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 ทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ กรณีที่ 2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร และกรณีที่ 3 ทดสอบการทำงานใน

ภาพรวมทั้งหมด จากผลการทดสอบทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า แขนหุ่นยนต์หลังติดตั้งอุปกรณ์ยังสามารถเคลื่อนที่ในตำแหน่งที่กำหนด โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 0.5 มม. จากตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งน้อยมากสำหรับการใช้งานที่ไม่คำนึงถึงความแม่นยำมากนัก ในส่วนของการทำงานในภาพรวมการทำงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีพื้นที่การทำงาน 152 ตร.ซม. สามารถเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาได้จำนวน 14 ขวด โดยมีระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 48.15 วินาที โดยการทดสอบการทำงานทั้งหมดนี้ จะทำการทดสอบจำนวน 100 รอบการทำงาน ซึ่งระบบสามารถทำงานตามคำสั่งได้ถูกต้อง 100% ซึ่งแสดงให้เห็นสมรรถนะทั้งในการสั่งการการควบคุมตำแหน่ง รวมถึงการประสานการทำงานกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ตามที่ออกแบบเป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ทีมผู้วิจัยเน้นไปที่การออกแบบและพัฒนาต้นแบบแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์ให้อาหารและเปลี่ยนน้ำ ในส่วนของอนาคตจะเป็นการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้แขนหุ่นยนต์ทำงานต่อเนื่องในพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น และจะนำการประเมินจากผู้ใช้งานจริงมาร่วมประเมินประสิทธิภาพด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานของหน่วยวิจัยระบบอัจฉริยะ และการแปลงแผนพลังงาน สำหรับจัดทำงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ด้านตรวจสอบสัตว์น้ำทำอากาศยานสุวรรณภูมิ. สถิติการนำเข้า ส่งออกสัตว์น้ำ ทำอากาศยาน สุวรรณภูมิ เดือนมิถุนายน 2561: 1-18.
- [2] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. ขอเสนอให้ปลดกักไทยเป็นสัตว์น้ำประจำชาติ. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2564] เข้าถึงได้จาก: https://www.soc.go.th/wp-content/uploads/slupload/v62_62.pdf
- [3] สำนักงานประมงจังหวัดนครปฐม. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 5 มิถุนายน 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site2/fpo-nakhonpathom>.
- [4] Osaka T, Yakushiji H and Hirata D. Underwater cleaning robot and auxiliary cleaning work machine. European Patents EP2251102A1.USA. 2010; Nov: 17.
- [5] Lee DG, Cha BJ, Park SW, Kwon MG, Xu DC, Kim HJ. Development of a vision-based automatic vaccine injection system for flatfish. Aquacultural Engineering. 2013; 54: 78-84.
- [6] Antonucci F and Costa C. Precision aquaculture: a short review on engineering innovations. Aquaculture International. 2020; 28: 41-57.

- [7] 20sffactory. [Internet]. [Cited 2021 September 7]. Available from: https://github.com/20sffactory/community_robot_arm
- [8] Spong MW, Hutchinson S and Vidyasagar M. Robot Modeling and Control, 2nd Ed. USA: John Wiley & Sons Ltd; 2020.
- [9] Arduino. [Internet]. [Cited 2021 September 1]. Available: <https://www.arduino.cc>.
- [10] YAT. Swiss federal SBFI project. [Internet]. [Cited 2021 June 20]. Available: <https://sourceforge.net/projects/y-a-terminal/>.
- [11] Lucas JS, Southgate PC and Tucker CS. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants, 3rd Edition, USA: Wiley-Blackwell. 2019.
- [12] Yue K and Shen Y. An overview of disruptive technologies for aquaculture. Aquaculture and Fisheries. 2022; 7(2): 111-20.