

## หุ่นยนต์ปลา Fish Robot

อิศรา สกุลทองไพศาล ธนาวัฒน์ วุฒิชัยชนากร ไพโรจน์ดี พิชัย และ สโรช ไทรเมฆ  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2470-9691 E-Mail: [fishrobot@fibo.kmutt.ac.th](mailto:fishrobot@fibo.kmutt.ac.th)

Aissara Sakuntongpisan, Thanawat Vuttichaitanakron, Prisan Pichai and Saroj Saimek  
Department of Mechanical Engineering and Institute of Field Robotics (FIBO)  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkrui 10140 Thailand  
Tel: 0-2470-9339 Fax: 0-2470-9691 E-Mail: [fishrobot@fibo.kmutt.ac.th](mailto:fishrobot@fibo.kmutt.ac.th)

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบ การว่ายน้ำเบื้องต้นของหุ่นยนต์ปลา โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจะ ศึกษา พัฒนาความรู้ความเข้าใจในการสร้าง สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสร้างและใช้งานหุ่นยนต์ปลา โดยหุ่นยนต์ปลาตัวแรกถูก กำหนดให้ว่ายน้ำในแนวระนาบ เป็นเส้นตรงตามผู้บังคับกำหนด ผ่านสายเคเบิล ส่วนหุ่นยนต์ปลาตัวที่สองเป็นการนำประสบการณ์ที่ได้จากปัญหาที่พบในหุ่นยนต์ปลาตัวแรกโดยเฉพาะปัญหาการกั้นน้ำ เข้าสู่หุ่นยนต์ นอกจากนี้ยังเปลี่ยนวิธีการควบคุมมาใช้การควบคุม แบบระบบเปิดโดยใช้สัญญาณวิทยุแทนการใช้สายเคเบิล แต่จะ กล่าวถึงผลการทดสอบที่ได้จากหุ่นยนต์ปลาตัวแรกที่มีหางในลักษณะ ต่างๆเท่านั้น

### Abstract

Fish robot project is a senior project requirement that fulfills Bachelor degree curriculum. The project is supported from department of mechanical engineering and Institute of Field robotics at KMUTT. Objectives of the project are to develop knowledge and understanding of the robot construction, provide solution to its construction and utilization. The first fish robot was designed to swim horizontally at water surface. It was controlled by an operator using an electrical cable. The second robot was developed from the first robot, in order to eliminate water leakage problem. Moreover the second robot was controlled through radio control instead of the cable. In this paper, we presented only experimental from the first robot with various caudal fin shape and size.

### 1. บทนำ

หุ่นยนต์ปลาสร้างขึ้นเพื่อเรียนแบบการว่ายน้ำของปลาที่มีอยู่ในธรรมชาติโดยมีจุดประสงค์สูงสุดอยู่ที่ความเข้าใจการว่ายน้ำและปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในขณะที่ปลากำลังว่ายน้ำซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาทางน้ำให้มีประสิทธิภาพ และความสามารถในการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้น

การว่ายน้ำของปลาและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำเป็นสิ่งที่มีการศึกษากันอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เริ่มตั้งแต่สมัยอริสโตเติล [2] อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กระตุ้นให้เกิดความพยายามในการตอบคำถามว่าปลาว่ายน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงได้อย่างไรในปัจจุบันมาจากการศึกษาการว่ายน้ำของโลมาโดยเซอร์เจมส์ เกร [3] หรือที่รู้จักกันในนามของ Gray's Paradox เขากล่าวว่า "ถ้าแรงต้านของโลมาขณะว่ายน้ำเท่ากับแบบจำลองที่ไม่เคลื่อนไหวที่ถูกลากไปด้วยความเร็วเท่ากัน กล้ามเนื้อของโลมาจะต้องมีความสามารถในการสร้างกำลังในอัตราอย่างน้อยเจ็ดเท่าของกล้ามเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม" ถึงแม้ว่างานวิจัยดังกล่าวไม่ได้กล่าวถึงการว่ายน้ำของปลาโดยตรง แต่เนื่องจากโลมาว่ายน้ำเช่นเดียวกับปลา ความเข้าใจที่ได้จากการศึกษาการว่ายน้ำของปลาจึงจะสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับโลมาได้

หุ่นยนต์ปลาตัวแรกถูกสร้างขึ้นโดยคณะนักวิจัยจาก MIT เรียกว่า Robotuna หรือ Charlie I [4,5,6] เพื่อจุดประสงค์ในการศึกษาการว่ายน้ำของปลา โดยหุ่นยนต์ดังกล่าวมีรูปร่างภายนอกคล้ายกับปลาหู นาคีหน้าเงิน (Thunnus thynnus) คณะผู้วิจัยพบว่ายานทางน้ำที่มีโครงสร้างที่หุนถวมี่แรงต้านน้อยลงถึงครึ่งหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับยานลักษณะเดียวกันที่ถูกลากไปด้วยความเร็วเท่ากันในขณะที่ยาน

ไม่ได้เคลื่อนไหว เหตุผลของการลดลงของแรงต้านถูกอธิบายในรูปของการไหลที่เรียกว่า re-laminarization คือที่ Reynold number สูงๆ ลักษณะการไหลของของไหลยังเป็นแบบราบเรียบ (laminar) ในยานที่มีความหนืดตัว ในขณะที่การไหล ณ จุดเดียวกันบนยานที่ถูกกลากเป็นการไหลแบบผกผัน (turbulent) [13] นอกจากนี้ยังพบว่า parameter ที่สำคัญที่สังเกตได้จากทั้งปลา และหุ่นยนต์ได้แก่ Strouhal number



รูปที่ 1 หุ่นยนต์ปลาตัวแรกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

$$St = \frac{fA}{V}$$

โดยที่

$f$  คือความถี่ของการโบกกลับไปกลับมาของหาง (Hz)

$A$  คือความกว้างของ wake ซึ่งโดยทั่วไปจะให้มีค่าเท่ากับความกว้างที่ปลายหางกวาดไป (m)

$V$  คือความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (m/s)

ซึ่งอยู่ระหว่างช่วง  $0.25 \leq St \leq 0.35$  [14] นอกจากหุ่นยนต์ปลาทุ่นครีบนำเงินแล้วคณะผู้วิจัยดังกล่าวยังได้สร้างหุ่นยนต์ปลา pike เพื่อศึกษาถึงการเคลื่อนที่ เนื่องจากปลา pike มีความสามารถในการสร้างความเร่งได้สูงมากถึง 25 เท่าของอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก [8] แต่ไม่พบเอกสารอ้างอิงถึงผลการทดลองในส่วนของหุ่นยนต์ปลา pike ต่อจากนั้น Anderson และ Kerrebrock [1] ได้พัฒนาหุ่นยนต์ปลาทุ่นที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ แต่ทางคณะผู้วิจัยไม่ได้แสดงรายละเอียดทางด้านเทคนิคทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงวิธีการที่ใช้ในหุ่นยนต์ดังกล่าว

ในปัจจุบันการสร้างหุ่นยนต์ปลาเริ่มมีมากขึ้นในหลายรูปแบบรวมทั้งการศึกษาการส่งกำลังในแบบต่างๆ Hirata [9] ได้นำระบบขับเคลื่อนที่เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (stirling engine) มาเป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์โดยมุ่งหวังที่จะลดความสูญเสียทางกลจากการแปลงกลับไปกลับมาระหว่างการหมุนและการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา Nakashima et al. [11] สร้างหุ่นยนต์โลมาที่มีสองข้อต่อโดยที่การเคลื่อนที่แรกถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ที่มีความเร็วคงที่ ส่วนข้อต่อที่สองเป็นข้อต่อที่ต่อกับข้อต่อแรกด้วยสปริง ซึ่งการวิเคราะห์หาสปริงที่เหมาะสมสามารถหาได้จากการศึกษาของ Harper et al. [7] ซึ่งอยู่บน

พื้นฐานการวิเคราะห์โดยใช้ Routh's criteria นอกจากหุ่นยนต์ปลาที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีหุ่นยนต์ปลาอีกหลายชนิดที่ได้ออกแบบและจัดสร้างโดยกลุ่มอุตสาหกรรมเช่น บริษัทมิซูบิชิสร้างหุ่นยนต์ปลาซีลาแคน เป็นต้น แต่ไม่มีเอกสารกล่าวถึงว่าจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใด

นอกจากหุ่นยนต์ปลาที่ใช้หางเป็นระบบขับเคลื่อนแล้วยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ครีบ (pectoral fin) [10] ในการขับเคลื่อนเช่นเดียวกับปลาช่อนและปลาน้ำจืดส่วนใหญ่ งานวิจัยที่ทำในกลุ่มวิจัยนี้ใช้หลักการของ fuzzy logic และ neural network เพื่อที่จะควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ อย่างไรก็ตามผลการทดลองยังสามารถปรับปรุงได้อีกมาก Rediniotis et al. [12] อาศัยการทำงานของ shape-memory-alloy มาสร้างไฮโดรฟอยล์ที่สามารถขยับได้เสมือนกับเป็นตัวปลา

หุ่นยนต์ปลาที่ทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีพัฒนาขึ้นในปัจจุบันมี 2 ตัว ตัวแรกมีลักษณะคล้ายปลาดุก ตัวที่สองมีลักษณะคล้ายเรือดำน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัญหาพื้นฐานในการสร้างหุ่นยนต์ปลา เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างหุ่นยนต์ปลาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หุ่นยนต์ปลาตัวแรกถูกออกแบบให้สามารถว่ายน้ำเป็นเส้นตรงอยู่ในแนวระดับใกล้ผิวน้ำ ในขณะที่ตัวที่สองถูกออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งสามมิติ

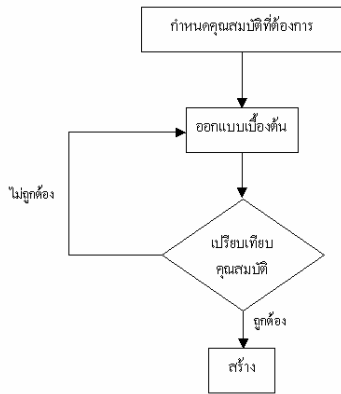
ส่วนที่เหลือของรายงานทางวิชาการเป็นดังนี้ หัวข้อที่ 2 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ หัวข้อที่ 3 กล่าวถึงการคำนวณแรงที่หางปลาเพื่อใช้ในการเลือกมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลา หัวข้อที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองเบื้องต้นสำหรับหางปลาแบบต่างๆ และหัวข้อที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและงานวิจัยในอนาคต

## 2. การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ปลา

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ปลา ซึ่งการออกแบบแบ่งได้ออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนของตัว และกลไกภายในตัวปลา ส่วนของตัวปลาเป็นส่วนที่ใช้เก็บอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์ และแบตเตอรี่ นอกจากนี้ส่วนหัวยังเป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายถึงอับเฉาในเรือดำน้ำซึ่งใช้ในการสร้างแรงลอยตัว ส่วนที่สองได้แก่ส่วนของกลไกที่ใช้ในการขับเคลื่อนหางของหุ่นยนต์ปลา

การออกแบบหุ่นยนต์ปลาเริ่มจากการกำหนดมิติ และคุณสมบัติเบื้องต้นของหุ่นยนต์ปลา ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก, ความยาว, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความเร็วสูงสุดที่หุ่นยนต์ปลาสามารถทำได้ และความถี่สูงสุดในการเคลื่อนที่ของหาง คุณสมบัติเบื้องต้นมีดังนี้ น้ำหนักของหุ่นยนต์ปลาประมาณ 5 กิโลกรัม โดยมีความยาวจากหัวถึงปลายหางประมาณ 1 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดประมาณ 0.16 เมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุดประมาณ 0.5 เมตร/วินาที ความถี่ในการเคลื่อนที่ของหางสูงสุดที่ 3 Hz เมื่อกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นที่ต้องการแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณกำลังของตัวขับเคลื่อนที่เหมาะสม (หุ่นยนต์ปลาตัวที่สองก็ใช้หลักการในการออกแบบในลักษณะเดียวกับตัวแรก แต่ลดความยุ่งยากในการออกแบบรูปร่างลงเพื่อให้ง่ายต่อการป้องกันการรั่วซึม) ในโครงการนี้จะใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของการคำนวณในหัวข้อถัดไป เนื่องจากการเลือกขนาดของมอเตอร์มีผล

โดยตรงต่อน้ำหนักและมิติของหุ่นยนต์ปลาจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบว่ามีมิติ และคุณสมบัติที่กำหนดให้ในขั้นต้นมีความเหมาะสมหรือไม่ถ้าไม่จะต้องมีการกำหนดใหม่ และทำการคำนวณซ้ำจนกว่าจะได้มิติ และคุณสมบัติที่เหมาะสม ขั้นตอนการออกแบบสามารถสรุปได้ดัง flow chart ต่อไปนี้

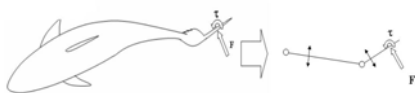


รูปที่ 2 flow chart ของการออกแบบหุ่นยนต์ปลา[14]

การสร้างหุ่นยนต์ปลาดังกล่าวแบบตัวแรกได้เลือกใช้ปลาฉลามครีบดำมาเป็นต้นแบบเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด และเลือกใช้ไฟเบอร์กลาสมาเป็นโครงสร้างของลำตัวเนื่องจากมีน้ำหนักเบา และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ส่วนหุ่นยนต์ปลาตัวที่สองใช้ท่อคลิลิมาใช้ทำลำตัว โดยมีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

1. การวัดขนาดของปลาฉลามต้นแบบ
2. การทำโมลลำตัว และหางของหุ่นยนต์ปลา
3. การหล่อไฟเบอร์
4. การตกแต่ง

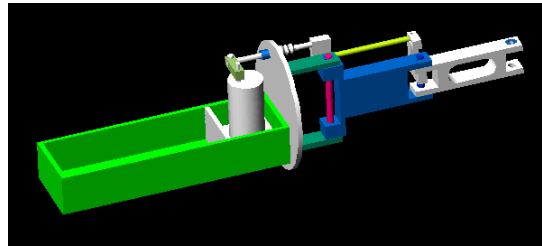
เพื่อให้เกิดการสร้างแรงในการขับเคลื่อนกลไกที่ใช้ในการขับเคลื่อนหางของหุ่นยนต์ปลาต้องทำให้หางของหุ่นยนต์ปลาเคลื่อนที่ได้ในสองมิติ คือการกวาดไปมาของหางซึ่งเรียกว่า heaving และการหมุนของหางของหุ่นยนต์ปลาเรียกว่า pitching ดังแสดงดังรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 3 แรงและโมเมนต์ที่หางปลา

ดังนั้นกลไกที่ง่ายที่สุดที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ดังกล่าวคือ แขนกลที่มี 2 ข้อต่อหมุน โดยที่ลิ้งค์ที่ 1 ทำหน้าที่สร้างการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของหางของหุ่นยนต์ และลิ้งค์ที่ 2 แทนหางของหุ่นยนต์ นอกจากนี้ยังกำหนดให้เฉพาะลิ้งค์แรกเท่านั้นที่ต่อเข้ากับมอเตอร์เพื่อสร้างลักษณะการขับเคลื่อนที่ต้องการ ส่วนลิ้งค์ที่สองต่อกับลิ้งค์แรกด้วย torsional spring ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของลิ้งค์ที่

สองเป็น passive ในขณะที่หุ่นยนต์ปลาตัวที่สองใช้หางที่ให้ตัวได้แทนลิ้งค์ที่สอง กับสปริงเพื่อลดแรงบิดเนื่องจากโมเมนต์อาร์มสั้นลง ในขณะที่กลไกของลิ้งค์ที่ 1 ถูกย้ายออกนอกลำตัวและถูกขับเคลื่อนผ่านเฟืองดอกจอกซึ่งจะลดการรบกวนได้ดีขึ้นแต่มีการสูญเสียเชิงกลเพิ่มเนื่องจากต้องขับเคลื่อนผ่านเฟือง



รูปที่ 4 แสดงกลไกที่ใช้ในการขับเคลื่อน

### 3. การคำนวณแรงที่หางปลา

การเลือกมอเตอร์เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติที่กำหนดนั้นนับได้ว่าเป็นหัวใจของการสร้างหุ่นยนต์ปลา หลักเกณฑ์ในการเลือกมอเตอร์ได้จากการหาแรงบิดสูงสุดที่ต้องการในการเคลื่อนที่เนื่องจากหางของหุ่นยนต์ปลาที่จมอยู่ในน้ำแรงบิดที่ต้องการเป็นแรงบิดที่เกิดจากสองส่วนคือ แรงบิดที่ต้องการในการสร้างความเร่งเชิงมุมของหางกับลิ้งค์ทั้งสอง และแรงบิดเนื่องจากแรงยก และโมเมนต์ที่กระทำที่หางของหางหุ่นยนต์ในขณะเคลื่อนที่ เนื่องจากหางหุ่นยนต์ปลามีความซับซ้อนการที่จะคำนวณหาค่าของแรงยกและแรงบิดที่แท้จริงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงสร้างสมมุติฐานดังนี้ 1) การไหลของของไหลผ่านทางหุ่นยนต์เป็นการไหลแบบสองมิติ 2) การไหลผ่านทางหุ่นยนต์เป็นแบบไม่มีความฝืด และอัดตัวไม่ได้ และ 3) หางหุ่นยนต์เป็นแผ่นเรียบ พบว่าจากการตั้งสมมุติฐานดังกล่าวทำให้สามารถใช้สมการที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Harper และคณะ [7] ซึ่งเป็นไปดังนี้

$$L_0 = 2\rho a^3 U \left[ -\dot{z}_r + U\dot{\theta}_r + \left(\frac{a}{2} + b\right) \ddot{\theta}_r \right]$$

$$M_0 = \rho a^3 U \left[ -z_r + U\dot{\theta}_r - b \ddot{\theta}_r \right]$$

$$L_1 = \rho \pi a^2 \left( -\ddot{z}_r + U \ddot{\theta}_r - b \ddot{\theta}_r \right)$$

$$M_1 = \left( -\frac{\pi}{8} \rho a^4 \ddot{\theta}_r \right)$$

$$L_2 = -L_0 (1 - C(iw))$$

$$M_2 = L_2 \frac{a}{2}$$

โดยที่

$L_0$  คือ แรงที่กระทำกับหางที่สภาวะ Quasi-steady

$M_0$  คือ โมเมนต์ที่กระทำกับหางที่สภาวะ Quasi-steady

$L_1$  คือ แรงที่กระทำกับหางที่สภาวะ Added mass

$M_1$  คือ โมเมนต์ที่กระทำกับหางที่สภาวะ Added mass

$L_2$  คือ แรงที่กระทำกับหางที่สภาวะ Wake effect

$M_2$  คือ โมเมนต์ที่กระทำกับหางที่สภาวะ Wake effect

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล

$U$  คือ ความเร็วของของไหลที่ไหลทาง

•

$Z_t$  คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหางในแนวแกน  $Z_t$

$a$  คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางของหางถึงปลายหาง

$b$  คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางของหางถึงจุดหมุนโดยที่จุด

กึ่งกลางมีค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์โดยมีค่าเพิ่มตามทิศทางที่กระแสน้ำไหลผ่านหางและลดลงเมื่อทิศทางสวนทางกับการไหล

กำหนดให้ระยะจากจุดศูนย์กลางของหางหุ่นยนต์ถึงจุดศูนย์กลางการหมุนเป็น 0.3 เมตร จากการคำนวณพบว่าแรงบิดสูงสุดที่ต้องการที่ความเร็วเชิงมุม  $2\pi$  rad/sec ต้องการแรงบิดที่มอเตอร์สูงสุดที่ประมาณ 33 N-m

จากการคำนวณและมอเตอร์ที่เลือกพบว่า มอเตอร์มีกำลังไม่เพียงพอในการขับเคลื่อน อย่างไรก็ตามเนื่องจากงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไม่ต้องการกำลังสูงสุดอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้มอเตอร์ดังกล่าวถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนในหุ่นยนต์ปลา เนื่องจากตัวขับเคลื่อนไม่มีกำลังเพียงพอจึงคาดได้ว่า หุ่นยนต์ปลาจะไม่สามารถเคลื่อนที่ และสร้างความถี่ของหางตามที่กำหนดได้

#### 4. ผลการทดลองเบื้องต้นในการว่ายน้ำของหุ่นยนต์ปลา (หุ่นยนต์ปลาตัวแรก)

การทดลองการว่ายน้ำของหุ่นยนต์ปลาแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การทดสอบการว่ายน้ำเบื้องต้น และการทดสอบเปรียบเทียบการว่ายน้ำเมื่อใช้หางชนิดต่างๆ โดยการทดสอบการว่ายน้ำทั้งสองแบบใช้การควบคุมแบบวงจรมืด กล่าวคือไม่มีการป้อนกลับสัญญาณว่าหางหุ่นยนต์กวาดไปเป็นมุมเท่าใด และไม่มีการป้อนกลับถึงความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

หางปลาฉลาม น้ำหนัก 425 g พื้นที่หน้าตัด  $\approx 449 \text{ cm}^2$



ระยะทาง 2 เมตร	
เวลา	ความเร็ว
(s)	(cm/s)
29.67	6.74
34.06	5.87
29.72	6.73
35.62	5.61
33.92	5.90
ความเร็วเฉลี่ย	6.17
ความเร็วสูงสุด	6.74

หางปลาหมอ น้ำหนัก 64 g พื้นที่หน้าตัด  $\approx 450 \text{ cm}^2$



ระยะทาง 2 เมตร	
เวลา	ความเร็ว
(s)	(cm/s)
10.11	19.78
11.34	17.64
12.44	16.08
11.14	17.95
10.95	18.26
ความเร็วเฉลี่ย	17.94
ความเร็วสูงสุด	19.78

หางปลาหูฉลาม น้ำหนัก 37 g พื้นที่หน้าตัด  $\approx 221 \text{ cm}^2$



ระยะทาง 2 เมตร	
เวลา	ความเร็ว
(s)	(cm/s)
8.78	22.78
9.09	22.00
8.25	24.24
8.78	22.78
8.80	22.73
ความเร็วเฉลี่ย	22.91
ความเร็วสูงสุด	24.24

หางแบบปีกเครื่องบิน น้ำหนัก 78 g พื้นที่หน้าตัด  $\approx 225.5 \text{ cm}^2$



ระยะทาง 2 เมตร	
เวลา	ความเร็ว
(s)	(cm/s)
10.55	18.96
11.01	18.17
11.27	17.75
11.34	17.64
11.55	17.32
ความเร็วเฉลี่ย	17.96
ความเร็วสูงสุด	18.96

#### 5. สรุปผลการทดลองและงานวิจัยในอนาคต

จากการทดลองพบว่าหางปลาที่มีลักษณะต่างกันให้ผลการทดลองที่ต่างกันมากแต่เนื่องจากหางบางลักษณะก่อให้เกิดแรงต้านในการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างมากอาจจะทำให้ความถี่ในการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาส่งผลให้เกิดแรงผลักดันน้อยลงด้วย เหตุผลที่สองเป็นเรื่องของขบวนการในการสร้างแรงผลักดันในหางที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบน เช่นหางลักษณะของปลาหมอ การสร้างแรงผลักดันอาจจะเป็นผลมาจากการผลึกมวลของน้ำไปทางด้านหลักแทนการสร้างแรงยกในลักษณะเดียวกับปีกเครื่องบิน หางปลาที่มีลักษณะคล้ายปลาหูฉลามสามารถทำให้ปลาเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วสูงที่สุด คือที่ประมาณ 0.24 เมตรต่อวินาที ที่ Strouhal number ประมาณ 0.42 ซึ่งยังไม่ใช่ช่วงของการทำงานที่เหมาะสม

เนื่องจากหุ่นยนต์ปลาดังกล่าวเป็นหุ่นยนต์ปลาตัวแรกที่ถูกสร้างขึ้นจึงยังมีข้อบกพร่องอยู่หลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการป้องกันน้ำรั่วซึม ปัญหาของการควบคุมที่ต้องการการป้อนกลับเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเลี้ยงตัวได้ และการติดอุปกรณ์กวัดที่จะให้ข้อมูลทาง

วิทยาศาสตร์ในเชิงลึกได้ไม่เหมาะสมเนื่องจากขนาด น้ำหนัก และสภาวะของการใช้งาน อย่างไรก็ตามหุ่นยนต์ปลาตัวที่สองได้แก้ปัญหาบางส่วนโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแก้ปัญหาการรั่วซึม โครงการที่ยังดำเนินการอยู่คือการสร้างหุ่นยนต์ปลาตัวที่สามและสี่ที่มีขนาดใหญ่เพื่อการวิจัยในด้านของกลศาสตร์ของไหลและการควบคุมต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. กรธรรม สติรกุล ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] J. M. Anderson and P. A. Kerrebrock. The vorticity control unmanned undersea vehicle (VCUUV): An autonomous robot tuna, the 11<sup>th</sup> International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, Durham, August 23-25, 1999.
- [2] W. Hoar and D. Randall, editors. Fish Physiology, volume VII of Locomotion. Academic Press, 1978. Chapter I.
- [3] J. Gray. The propulsive powers of the dolphin. Journal of Experimental Biology, pages 192—199, August 1935.
- [4] D. Barrett, M. Grosenbaugh, and M. Triantafyllou. The optimal control of a flexible hull robotic undersea vehicle propelled by an oscillating foil. In Proceedings of the IEEE Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology, pages 1—9, 1996.
- [5] D. Barrett, M. Triantafyllou, D. Yue, M. Grosenbaugh, and M. J. Wolfgang. Drag reduction in fish-like locomotion. Journal of Fluid Mechanics, 392, 1999.
- [6] D. S. Barrett. Forces and Efficiency of a Flexible Hull Vehicle. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [7] K. A. Harper, M. D. Berkemeier, and S. Grace. Modeling the dynamics of spring-driven oscillating foil propulsion. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 23(3):285—296, 1998.
- [8] D. G. Harper and R. W. Blake. Fast-start performance of rainbow trout *Salmo Gairdneri* and northern pike *Esox Lucius*. Journal of Experimental Biology, 150, 321—342, 1990.
- [9] K. Hirata. A semi free piston stirling engine for a fish robot, In Proceedings of 10<sup>th</sup> International Stirling Engine Conference, pages 146—151, September, 2001.

- [10] N. Kato. Control performance in the horizontal plane of a fish robot with mechanical pectoral fins. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 25(1):121—129, January 2000.
- [11] M. Nakashima, K. Tokuo, K. Kmainaga, and K. Ono. Experimental study of a self-propelled two joint dolphin robot. In Proceedings of the ninth International Offshore and Polar Engineering Conference, pages 419—424, Brest, France, June 1999.
- [12] O. K. Rediniotis, L. N. Wilson, D. C. Lagoudas, and M. M. Khan. Development of a shape-memory-alloy actuated biomimetic hydrofoil, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, volume 13, pages 35—50, January 2002.
- [13] A. Techet and M. Triantafyllou. Boundary layer relaminarization in swimming fish. In The International Offshore and Polar Engineering Conference, volume 2, 1999.
- [14] M.S. Triantafyllou and G.S. Triantafyllou. An efficient swimming machine. Scientific American, March 1995.
- [15] อิศรา สกกุลทองไพศาล ธนาวัฒน์ วุฒิชัยชนากร และไพโรจน์ดีพิชัย “Fish Robot: หุ่นยนต์ปลา” วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ. 2545.
- [16] เอกชัย ปรามนกร กนกวรรณ กาลสัมฤทธิ์ และสุทัย สุวรรณรัตน์ “Fish Robot 2: หุ่นยนต์ปลา 2” วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ. 2546.