

การจัดตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือ เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน Optimum Rower Weight Position for Competition Development

จิราพร कुโนภาส¹ ประชา บุญยวานิชกุล¹ ถนอมศักดิ์ เสนาคำ^{2*} สุรัชย์ เหมหิรัญ³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลองครักษ์ อำเภองครักษ์ นครนายก 26120

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษาและ RCAT มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลองครักษ์ อำเภองครักษ์ นครนายก 26120

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

Jiraporn Khunopast¹ Pracha Bunyawanchakul¹ Tanormsak Senakham^{2*} Surachai Hemhirun³

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University
Rangsit-Nakhon Nayok Road, Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120

²Department of Sport Science, Faculty of Physical Education and RCAT, Srinakharinwirot
University Rangsit-Nakhon Nayok Road, Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Krungthep, Nang Linchi Road, Thung Maha Mek, Sathon, Bangkok, 10120

*Corresponding author Email: tanormsakse@gmail.com

(Received: June 13, 2023; Revised: July 2, 2023 ; Accepted: August 17, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือมังกร 10 ฝีพาย ในระยะทาง 200 เมตร โดยใช้โปรแกรม Ansys Workbench สร้างแบบจำลองการพายและคำนวณหาผลลัพธ์ ทำการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย 2) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย 3) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือพายมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด จากการศึกษาพบว่ารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือพายมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด คือการจัดรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย เนื่องจากการกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสม ทำให้มีค่าแรงต้านที่กระทำการเคลื่อนที่เรือพายน้อยที่สุดอยู่ที่ 339.156 นิวตัน และมีค่าแรงยกมากที่สุดอยู่ที่ 9,268.35 นิวตัน เป็นผลให้มีความเร็วในการพายมากที่สุดอยู่ที่ 3.817 เมตรต่อวินาที ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการพายน้อยที่สุดอยู่ที่ 53.00 วินาที เมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นการจัดตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการแข่งขันกีฬาเรือพายมังกร และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดแก่วงการกีฬาเรือพายต่อไป

คำสำคัญ: เรือมังกร การพาย เรือพาย

ABSTRACT

The purpose of this research was to optimize rower weight position for Competition Development using Ansys Workbench. A rowing model was made to calculate results. There were three types of analysis, as follows: 1) rowers with a heavy weight were seated at the front of the boat; 2) rowers with a heavy weight were seated in the middle of the boat; and 3) rowers with a heavy weight were seated at the rear of the boat. The results obtained were compared to identify the positions of the weights of the rowers to ensure the boat reached maximum efficiency in racing. According to the study, the positions of the weights of the rowers that enabled the boat to reach maximum efficiency in racing was assigning rowers with a heavy weight to sit in the middle of the boat since the weight was distributed appropriately, and the resistance affected dragon boat movement was at the lowest, 339.156 Newton and the lift was at the highest, 9,268.35 Newton, the highest speed in rowing was 3.817 meter per second, and the least time spent on rowing was 53.00 seconds, compared to other types. Therefore, the arrangement of the positions of rowers is essential for dragon boat racing. The information obtained from the analysis can be applied to achieve the maximum benefit for dragon boating accordingly.

Keyword: Dragon boat, Rowing, Rowing boat.

1. บทนำ

กีฬาเรือมังกรเป็นกีฬาเรือพายชนิดหนึ่งที่ได้รับการบรรจุไว้ในรายการแข่งขันทั้งในระดับชาติและนานาชาติ โดยประเภทของการแข่งขันกีฬาเรือพายชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ 10 ฝีพาย และ 20 ฝีพาย โดยแต่ละประเภทจะมีระยะทางในการแข่งขันตั้งแต่ 200 เมตร 500 เมตร 1,000 เมตร และ 2,000 เมตร ระยะทางที่นิยมใช้ในการแข่งขันของประเทศไทยได้แก่ ระยะทางที่ 200 เมตร

ในการแข่งขันเรือพายมังกรนั้น รูปทรงและน้ำหนักของเรือ น้ำหนักและตำแหน่งของนักพายเรือ แรงต้านทานการไหลของของไหล แรงยก ปัดจ้ยเหล่านี้ล้วนเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือทั้งสิ้น

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือที่มีทั้งการศึกษาเชิงทดลองและการศึกษาเชิงทฤษฎี ในการศึกษาเชิงทดลองเป็นการศึกษากลศาสตร์ทางด้านคิเนเมติกส์และทางด้านไดนามิกของการพายเรือ [1-3] โดยทำ

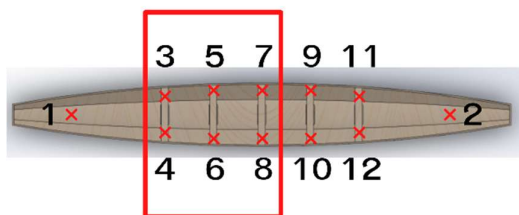
การวัดและบันทึกขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือ รวมถึงแรงที่มากระทำกับการพายเรือทั้งแรงที่มากระทำภายนอกและแรงที่มากระทำภายใน ส่วนการศึกษาเชิงทฤษฎีเป็นการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการเคลื่อนที่ของเรือ [4] จากนั้นได้มีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณและหาผลลัพธ์ [5-9] โดยทั้งสองรูปแบบจะมีหลักการและแนวทางการวิจัยที่คล้ายกันแต่จะแตกต่างในรูปแบบของวัตถุประสงค์ วิธีการ และขอบเขตของงานวิจัย จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าไม่มีการศึกษาวิจัยถึงน้ำหนักของนักพายเรือ ซึ่งเป็นมวลส่วนใหญ่ของการพายเรือ ประมาณร้อยละ 70-80 ของมวลทั้งหมด [10] ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร โดยใช้โปรแกรม Ansys Workbench ในการวิเคราะห์หาความเร็วและเวลาในการพาย ตลอดจนพฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์

มาเปรียบเทียบในการจัดหาตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือมีประสิทธิภาพสูงสุด การศึกษาดังกล่าวนี้นำให้ทราบถึงข้อมูลการคำนวณพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของเรือพายจริง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดแก่วงการกีฬาเรือพายต่อไป

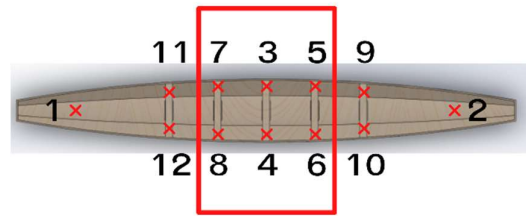
2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงาน

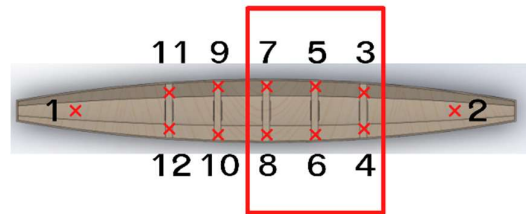
งานวิจัยนี้ใช้เครื่องพายเรือ (Ergometer) ในการเก็บข้อมูลการพาย เพื่อวัดกำลังของนักพายเรือ และใช้เครื่องชั่งน้ำหนักในการวัดน้ำหนักตัวของนักพายเรือ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้เป็นนักพายเรือม้งกรชายทีมชาติไทยจำนวน 12 คน แบ่งออกเป็นคนตีกลอง 1 คน คนคัดท้าย 1 คน และนักพายเรือ 10 คน จากนั้นทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือม้งกรขึ้นมา เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมของของไหลที่มากกระทบกับเรือพายม้งกรในระยะทาง 200 เมตร และใช้โปรแกรม Ansys Workbench สร้างแบบจำลองการพายเรือและคำนวณหาผลลัพธ์ โดยกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ 2) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ 3) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือ ดังแสดงในรูปที่ 1-3 และตารางที่ 1 จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมทั้ง 3 รูปแบบ มาเปรียบเทียบเพื่อหารูปแบบการพายเรือที่ทำให้เรือมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด



รูปที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย
(รูปแบบที่ 1)



รูปที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย
(รูปแบบที่ 2)



รูปที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย
(รูปแบบที่ 3)

ตารางที่ 1 ตำแหน่งน้ำหนัก และแรงของนักพายเรือ

ตำแหน่ง	มวล (kg)	แรง (N)
1 (คนตีกลอง)	60.3	-
2 (คนคัดท้าย)	60.8	-
3	80.3	178
4	80.0	179
5	79.2	201
6	79.1	200
7	67.0	181
8	66.9	182
9	64.1	177
10	64.0	175
11	62.3	185
12	62.4	202

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษากลไกการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาความเร็วและเวลาในการพาย ตลอดจนแรงต้านทานและแรงยกที่มากกระทบกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย ในงานวิจัยนี้ใช้สมการการเคลื่อนที่ ด้วยวิธีการ

จำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics; CFD) ภายใต้สภาวะไม่คงตัว (Unsteady State) แบบ 2 มิติ สมการควบคุม (Governing equation) อยู่บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence Model) แบบ $k-\omega$ SST ด้วยวิธีการ Couple ในการอธิบายบนระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method) ประกอบด้วยสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum equation) ดังนี้

2.2.1 สมการการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกะเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ซึ่งประกอบด้วย แรงขับเคลื่อน แรงต้านทาน เรือ มวลและความเร่ง [11]

$$F_C + F_R = (m_B + m_C)a \quad (1)$$

เมื่อ F_C คือ แรงขับเคลื่อนเนื่องจากนักพายเรือ (N)

F_R คือ แรงต้านทานเรือ (N)

a คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล (m/s^2)

m_B คือ มวลของเรือ (kg)

m_C คือ มวลของนักพายเรือ (kg)

2.2.2 สมการแรงต้านทานเรือ

การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกะจะเคลื่อนที่ช้าลงเนื่องจากแรงต้านทานที่เรียกว่า แรงฉุด (Drag Force) ในการพายเรือแรงต้านทาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แรงต้านทานอากาศ และแรงต้านทานน้ำ

$$F_D = F_{AD} + F_{HD} \quad (2)$$

เมื่อ F_D คือ แรงต้านทานรวม (N)

F_{AD} คือ แรงต้านทานอากาศ (N)

F_{HD} คือ แรงต้านทานน้ำ (N)

ในการเคลื่อนที่ของเรือพายแรงต้านทานของอากาศ นั้นจะมีผลกระทบต่อพื้นที่หน้าตัดของเรือ ความเร็วและ

สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทาน โดยอย่างไรก็ตามในระบบ การเคลื่อนที่ของเรือแรงต้านทานของอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่เพียง 10% ของแรงต้านทานทั้งหมดของระบบ [12]

$$F_{AD} = \frac{\rho_A}{2} C_A A V_A^2 \quad (3)$$

เมื่อ ρ_A คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

C_A คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ

(N/m^2)

A คือ พื้นที่หน้าตัดวัตถุที่สัมผัสอากาศ (m^2)

V_A คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

แรงต้านทานน้ำประกอบไปด้วย แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Drag) แรงต้านทานเนื่องจากแรงดัน (Pressure Drag) และแรงต้านทานของคลื่น (Wave Drag)

$$F_{HD} = F_{HDs} + F_{HDp} + F_{HDw} \quad (4)$$

เมื่อ F_{HDs} คือ แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (N)

F_{HDf} คือ แรงต้านทานเนื่องจากแรงดัน (N)

F_{HDw} คือ แรงต้านทานของคลื่น (N)

ในกีฬาเรือพายนั้นแรงต้านทานในน้ำส่วนใหญ่จะเกิดจากแรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Drag) เป็นแรงต้านทานที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อการแข่งขันเรือพายโดยมีค่าประมาณ 90% ของแรงต้านทานของน้ำทั้งหมด [13]

$$F_{HDs} = \frac{\rho_w}{2} C_s A V_w^2 \quad (5)$$

เมื่อ ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

C_s คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านของน้ำ

(N/m^2)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่สัมผัสน้ำ (m^2)

V_w คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

2.2.3 สมการแรงยก

แรงยก (Lift Force) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากกับแรงดันและการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$F_L = \frac{\rho}{2} C_L A V^2 \quad (6)$$

เมื่อ F_L คือ แรงยก (N)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

C_L คือ สัมประสิทธิ์ของแรงยก (N/m^2)

A คือ พื้นที่ของวัตถุที่สัมผัสน้ำ (m^2)

V คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s)

2.2.4 ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์

การเคลื่อนที่ของของไหลทั้ง 2 ชนิดที่กระทำกับการพายเรือมั่งกรใช้ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพของของไหล ประกอบไปด้วยสมการความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังนี้

1) สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (7)$$

2) สมการโมเมนตัม

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i^2)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + 2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] \\ &+ F_D \end{aligned} \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\rho u_j)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho u_j^2)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_j}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + 2\mu \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) + F_L \quad (9)$$

3) สมการแรงที่กระทำกับตัวเรือ

$$F_a = \vec{a} \cdot \vec{F}_p + \vec{a} \cdot \vec{F}_v \quad (10)$$

เมื่อ $\vec{a}$ คือ เวกเตอร์แรงที่ระบุ

$\vec{F}_p$ คือ เวกเตอร์แรงกด

$\vec{F}_v$ คือ เวกเตอร์แรงหนืด

4) สมการแรงต่อการพาย

$$F(t) = A \sin(\omega t + \varphi) + C \quad (11)$$

เมื่อ A คือ แอมพลิจูดแรงที่ใช้ในการพาย (N)

ω คือ รอบการพาย (s/stroke)

t คือ เวลา (s)

φ คือ ปรับกราฟ Sine ให้เริ่มต้นที่ 0

มีค่าเท่ากับ $\frac{\pi}{2} = 1.571$

C คือ ปรับกราฟ Sine ให้เป็นบวกโดยจะมีค่าเท่ากับแอมพลิจูดแรง (N)

2.2.5 แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\omega$ SST

แบบจำลอง $k-\omega$ SST สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) เขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \\ &+ \tilde{G}_k - Y_k \end{aligned} \quad (12)$$

สมการอัตราลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนจำเพาะ ω เขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega \quad (13)$$

โดยที่ค่า Effective Diffusivity แสดงดังนี้

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (14)$$

และ $\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (15)$

โดยที่ μ_t หาได้จาก

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\max \left[\frac{1}{\alpha^*}, \frac{SF_2}{0.31\omega} \right] \omega} \quad (16)$$

เมื่อ S คือ Strain rate magnitude หาได้จาก

$$S = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (17)$$

และ $F_2 = \tanh(\Phi_2^2) \quad (18)$

โดยที่ $\Phi_2 = \max \left[\frac{2\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right] \quad (19)$

$$\alpha^* = \left[\frac{0.33\beta_i + \rho k / 6\mu\omega}{1 + \rho k / 6\mu\omega} \right] \quad (20)$$

$$\sigma_k = \frac{1.176}{F_1 + 1.176(1 - F_1)} \quad (21)$$

$$\sigma_\omega = \frac{2.336}{1.168F_1 + 2(1 - F_1)} \quad (22)$$

$$D_\omega = 2(1 - F_1)\rho \frac{1}{1.168\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (23)$$

$$\beta_i = 0.075F_1 + 0.0828(1 - F_1) \quad (24)$$

สำหรับค่าคงที่และที่มาของตัวแปรต่างๆ ในสมการที่

7-9 และ สมการที่ 12-24 อ้างอิงจาก [14-15]

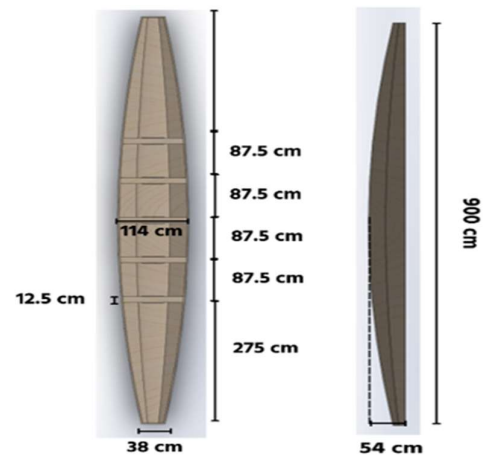
2.3 แบบจำลองและเงื่อนไขขอบเขต

2.3.1 แบบจำลองและคุณสมบัติของเรือพาย

งานวิจัยนี้ใช้เรือพายมังกร 10 ฝีพาย โดยเรือพายมังกรทำจากไม้ตะเคียน มีขนาดความกว้าง 114 เซนติเมตร ความยาว 900 เซนติเมตร และความสูง 54 เซนติเมตร ตามมาตรฐานในการแข่งขัน [16] ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเรือพายมังกร

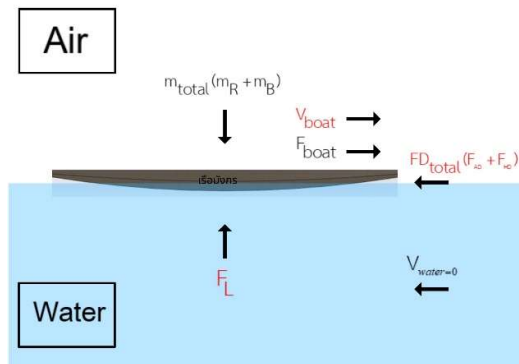
วัสดุ	ไม้ตะเคียน
ความหนาแน่น (kg / m^3)	800
มวล (kg)	180



รูปที่ 4 แบบจำลองและขนาดของเรือพายมังกร

2.3.2 เงื่อนไขขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้กำหนดให้อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ใช้ในการจำลองดังรูปที่ 5 และค่าคุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 3 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแปรต้น

1. ตำแหน่งที่นั่งของนักพายเรือ

ตัวแปรตาม

1. เวลาที่ใช้ในการพาย
2. ความเร็วในการพาย
3. แรงต้านทานที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย
4. แรงยกที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย
5. ความจมของเรือพาย

ตัวแปรควบคุม

เรือพายที่ใช้เป็นเรือพายมังกร 10 ฝีพาย มีขนาดความกว้าง 114 เซนติเมตร ความยาว 900 เซนติเมตร ความสูง 54 เซนติเมตร น้ำหนัก 180 กิโลกรัม ใช้วัสดุเป็นไม้ตะเคียน

สมมติฐาน

1. กำหนดแรงและน้ำหนักของนักพายเรือเป็นจุดตามตำแหน่งของนักพายเรือ
2. กำหนดให้ค่าแรงของนักพายเรือมีค่าตั้งแต่ 175 - 202 N
3. กำหนดให้น้ำหนักของนักพายเรือมีค่าตั้งแต่ 60.3 - 80.3 kg

4. กำหนดให้รูปแบบการพายของนักพายเรือในหนึ่งรอบการพายเป็นรูปแบบกราฟ sine

5. กำหนดรูปแบบการจำลองเป็น Multiphase โดยแบ่งเป็นเฟส น้ำกับเฟสอากาศ

6. ไม่คิดข้อมูลของใบพาย

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติ	อากาศ	น้ำ
ความหนาแน่น (kg / m^3)	1.225	998.2
ความหนืด ($kg / m \cdot s$)	1.7894e-05	0.001003

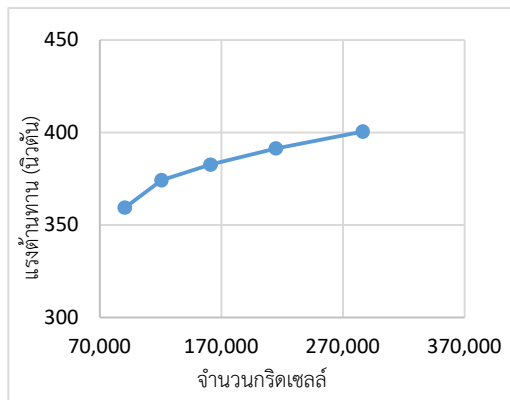
2.4 การวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรม Ansys Workbench

งานวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์แบบจำลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

2.4.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independence Study)

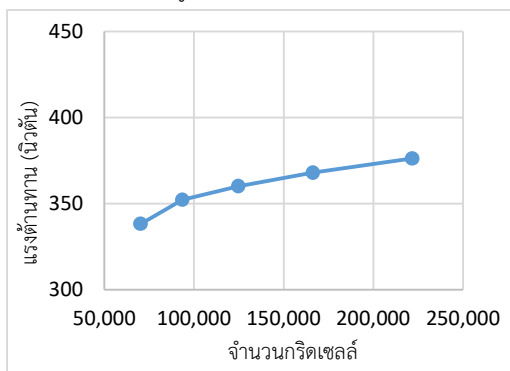
การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด คือการตรวจสอบจำนวนกริดเซลล์ เพื่อให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดสำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาจากแรงต้านทานที่มากระทำการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเทียบกับจำนวนกริดเซลล์ในทุกๆโดเมน โดยการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดทั้ง 3 รูปแบบ มีดังนี้

- 1) การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดรูปแบบที่ 1 จากการตรวจสอบพบว่าจำนวนกริดเซลล์ที่ 120,778 กริดเซลล์ และ 161,037 กริดเซลล์ มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าแรงต้านทานน้อยกว่า 3% ดังนั้น กริดเซลล์ที่ 161,037 กริดเซลล์ จึงมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ หากมีการเพิ่มจำนวนของกริดเซลล์นั้นพบว่ามีความแตกต่างของค่าแรงต้านทานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดรูปแบบที่ 1

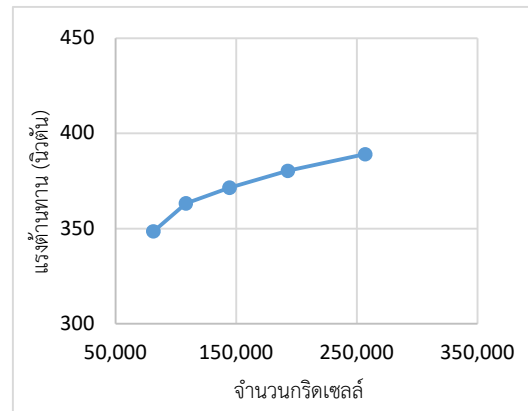
2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดรูปแบบที่ 2 จากการตรวจสอบพบว่าจำนวนกริดเซลล์ที่ 93,441 กริดเซลล์ และ 124,588 กริดเซลล์ มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าแรงต้านทานน้อยกว่า 3% ดังนั้น กริดเซลล์ที่ 124,588 กริดเซลล์ จึงมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ หากมีการเพิ่มจำนวนของกริดเซลล์นั้นพบว่ามีความแตกต่างของค่าแรงต้านทานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดรูปแบบที่ 2

3) การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดรูปแบบที่ 3 จากการตรวจสอบพบว่าจำนวนกริดเซลล์ที่ 108,420 กริดเซลล์ และ 144,560 กริดเซลล์ มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าแรงต้านทานน้อยกว่า 3% ดังนั้น กริดเซลล์ที่ 144,560 กริดเซลล์ จึงมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ หากมีการเพิ่มจำนวนของกริดเซลล์นั้น

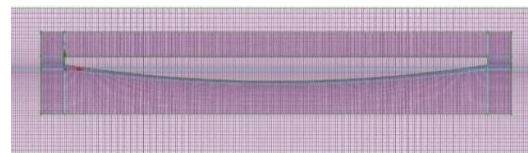
พบว่ามีความแตกต่างของค่าแรงต้านทานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 8



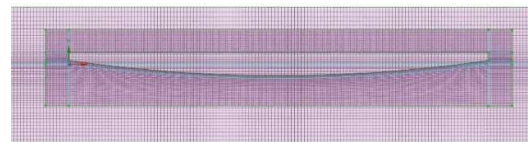
รูปที่ 8 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดรูปแบบที่ 3

2.4.2 แบบจำลอง

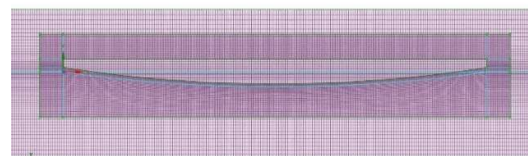
การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของของไหลที่มากระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรใช้เอลิเมนต์แบบ Hex Mesh โดยใช้วิธี Overset grid แบบ Blocking Mesh เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้เป็น Multiphase ทำให้การใช้เอลิเมนต์ชนิดนี้แบ่งแยกเฟสอากาศกับเฟสน้ำได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 9-11



รูปที่ 9 แบบจำลองรูปแบบที่ 1



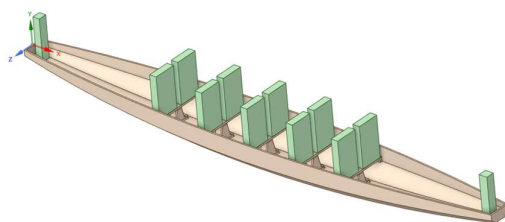
รูปที่ 10 แบบจำลองรูปแบบที่ 2



รูปที่ 11 แบบจำลองรูปแบบที่ 3

2.4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก

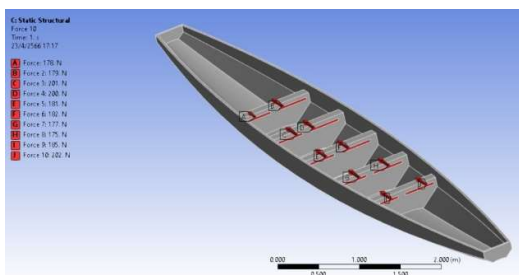
งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความจมน้ำของท้องเรือใน 3 มิติ เป็นการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักนกพายเรือที่กระทำต่อเรือ และการกระจายตัวของน้ำหนักนกพายเรือและเรือที่กระทำกับน้ำ โดยใช้โปรแกรม Ansys Spaceclaim ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อกำหนดเงื่อนไขให้เป็นไปตามการพายเรือจริง ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก

2.4.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือใน 2 มิติ เป็นการวิเคราะห์เวลา และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพาย ตลอดจนแรงต้านทานและแรงยกที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือ โดยทำการวิเคราะห์แรงของนกพายเรือใน 3 มิติ กำหนดให้แรงของนกพายเรือในแต่ละจุดตามรูปแบบตำแหน่งที่กำหนด ในโปรแกรม Static Structural ดังแสดงในรูปที่ 13 กำหนดค่าแรงเทียบกับเวลาให้อยู่ในรูปของกราฟ Sine ต่อ 1 การพาย จากนั้นนำค่า Force Reaction สูงสุดมาวิเคราะห์หาความเร็วและเวลาในการเคลื่อนที่ของเรือพายในโปรแกรม Ansys Fluent



รูปที่ 13 การวิเคราะห์แรงของนกพายเรือ

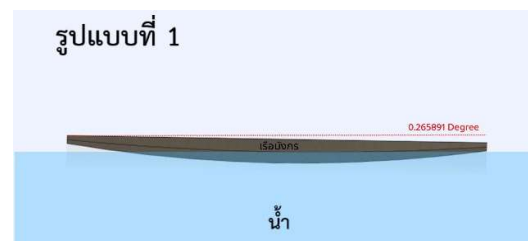
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร และหา รูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนกพายเรือที่ทำให้เรือพายมังกรมีประสิทธิภาพสูงสุดในการแข่งขันในระยะทาง 200 เมตร ตลอดจนศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรที่ส่งผลต่อความเร็ว ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดด้วยโปรแกรม Ansys Workbench มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก

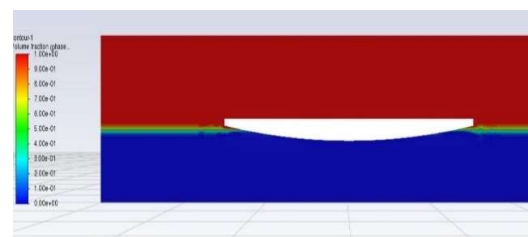
จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักนกพายเรือและเรือที่กระทำกับน้ำโดยใช้ Ansys Spaceclaim ใน 3 รูปแบบ มีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1) ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก รูปแบบที่ 1



รูปที่ 14 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก

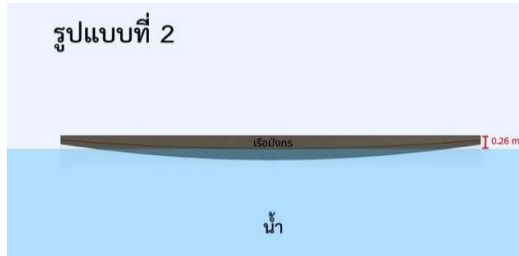
รูปแบบที่ 1



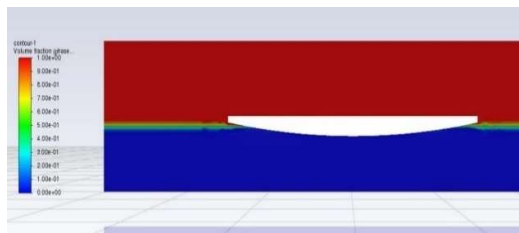
รูปที่ 15 Contour Phase ของ Air-Water รูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 14 และ 15 เป็นการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักนกพายเรือ โดยกำหนดให้นกพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย (รูปแบบที่ 1) มีค่าการจมน้ำของหน้าเรือทำมุม 0.266 องศา กับแนวระนาบของผิวน้ำ

2) ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก
รูปแบบที่ 2



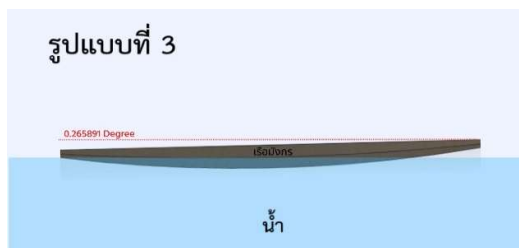
รูปที่ 16 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก
รูปแบบที่ 2



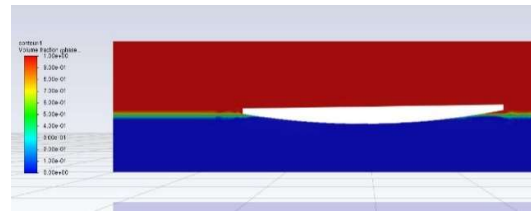
รูปที่ 17 Contour Phase ของ Air-Water รูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 16 และ 17 เป็นการวิเคราะห์การกระจาย
ตัวของน้ำหนักนกพายเรือ โดยกำหนดให้นกพายเรือที่มี
น้ำหนักมากไว้ด้านกลางของเรือพาย (รูปแบบที่ 2) มีค่า
0.26 เมตร จากราบเรือถึงผิวน้ำ

3) ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก
รูปแบบที่ 2



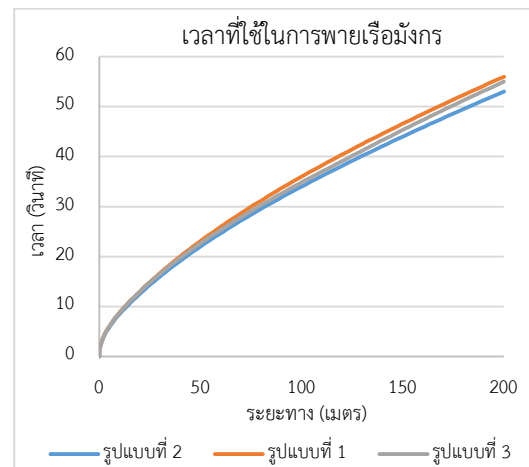
รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก
รูปแบบที่ 3



รูปที่ 19 Contour Phase ของ Air-Water รูปแบบที่ 3

จากรูปที่ 18 และ 19 เป็นการวิเคราะห์การกระจาย
ตัวของน้ำหนักนกพายเรือ โดยกำหนดให้นกพายเรือที่มี
น้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือพาย (รูปแบบที่ 3) มีค่า
การจมของท้ายเรือทำมุม 0.266 องศา กับแนวระนาบ
ของผิวน้ำ

3.2 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200
เมตร



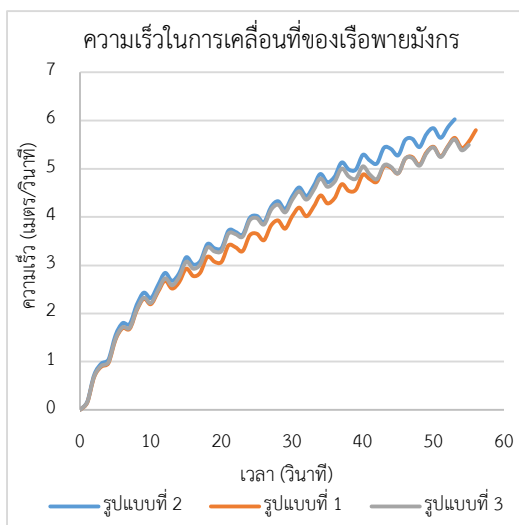
รูปที่ 20 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร
ในระยะทาง 200 เมตร

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200
เมตร

รูปแบบที่	เวลาที่ใช้ในการพาย (s)
1	56.00
2	53.00
3	55.01

จากรูปที่ 20 และตารางที่ 4 เป็นการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเรือม้งกรในระยะทาง 200 เมตร จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย ให้ค่าเวลาที่ใช้ในการพายที่ดีที่สุดในระยะทาง 200 เมตร เนื่องจากการกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสมทำให้เกิดการสมดุลของเรือในการเคลื่อนที่ที่กระทำกับของไหล [17]

3.3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร



รูปที่ 21 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร

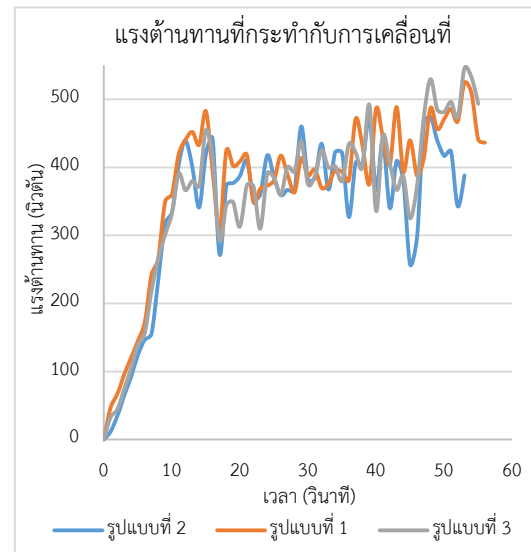
ตารางที่ 5 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร

รูปแบบที่	ความเร็วในการพาย (m/s)
1	3.628
2	3.817
3	3.727

จากรูปที่ 21 และตารางที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า รูปแบบที่ 2 คือการจัดตำแหน่งนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย ให้ผลลัพธ์ความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกรดีที่สุด เนื่องจากการกระจายตัวของน้ำหนักนักพาย

เรือที่เหมาะสมทำให้พื้นที่ผิวของเรือพายสัมพันธ์กับน้ำน้อยจึงทำให้มีความเร็วสูงสุด [18]

3.4 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร



รูปที่ 22 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร

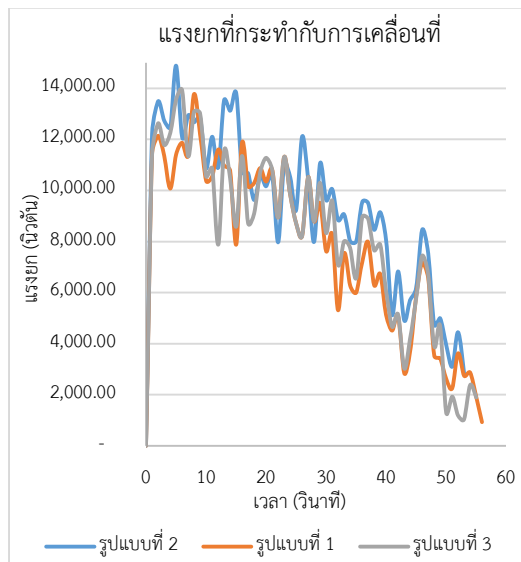
ตารางที่ 6 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร

รูปแบบที่	แรงต้านทาน (N)
1	372.357
2	339.156
3	357.876

จากรูปที่ 22 และตารางที่ 6 เป็นการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกรเฉลี่ยดีที่สุด เนื่องจากในรูปแบบนี้มีการกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสม ทำให้พื้นที่ผิวของเรือที่สัมผัสกับน้ำน้อย เป็นผลให้แรงต้านทานที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร

มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ จะสอดคล้องกับงานวิจัย [13] ที่กล่าวว่าแรงต้านทานตามพื้นผิว (Skin Drag) คิดเป็น 90% ของแรงต้านทั้งหมด สำหรับเรือที่มีความเร็วต่ำ

3.5 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ



รูปที่ 23 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ

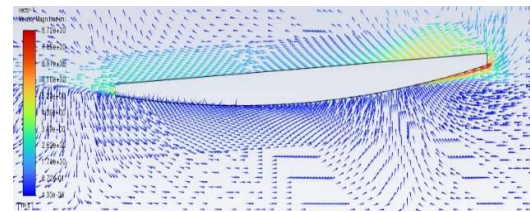
ตารางที่ 7 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ

รูปแบบที่	แรงยก (N)
1	7,754.71
2	9,268.35
3	8,099.27

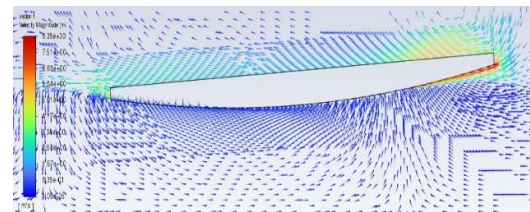
จากรูปที่ 23 และตารางที่ 7 เป็นการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าแรงยกที่กระทำการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิเฉลี่ยดีที่สุดที่สุด เนื่องจากแรงยกคือแรงที่กระทำต่อพื้นที่ผิวและมุมปะทะ

ของเรือพาย หากมีแรงยกที่มากกระทำกับเรือพายมาก จะส่งผลให้พื้นที่ผิวของเรือพายที่สัมผัสกับน้ำน้อยลงเป็นผลให้แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิลดลง [19]

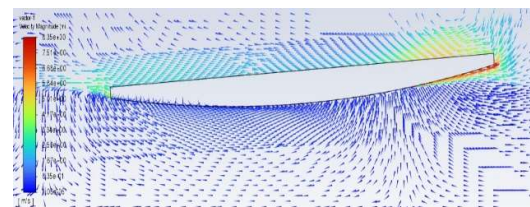
3.6 ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิในระยะทาง 200 เมตร



รูปที่ 24 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ รูปแบบที่ 1



รูปที่ 25 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ รูปแบบที่ 2

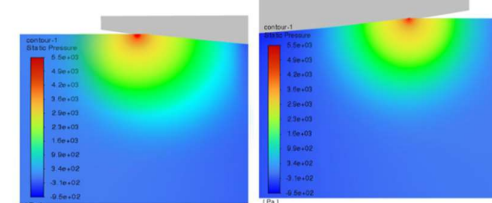
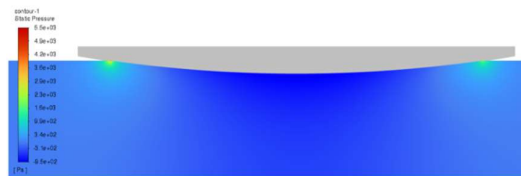


รูปที่ 26 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิ รูปแบบที่ 3

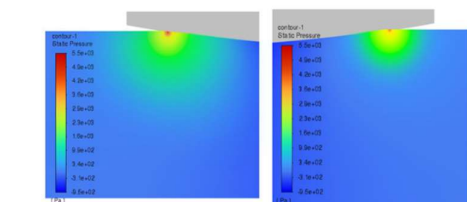
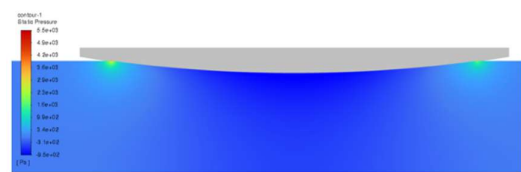
จากรูปที่ 24-26 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิทั้ง 3 รูปแบบ จากการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายแสดงเวกเตอร์ความเร็วของของไหลทั้งน้ำและอากาศที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกิมากที่สุด เนื่องจากรูปแบบนี้มีค่าความเร็วใน

การเคลื่อนที่ของเรือพายมากที่สุด ซึ่งจะสอดคล้องกับ
ทฤษฎีความเร็วของของไหล

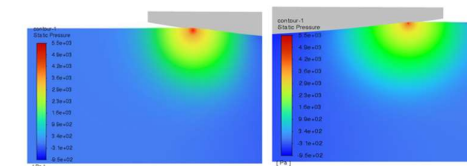
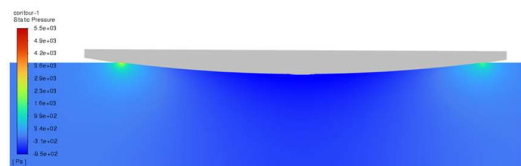
3.7 พฤติกรรมของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร



รูปที่ 27 Contour พฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับ
การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร รูปแบบที่ 1



รูปที่ 28 Contour พฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับ
การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร รูปแบบที่ 2



รูปที่ 29 Contour พฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับ
การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร รูปแบบที่ 3

จากรูปที่ 27-29 แสดง Contour พฤติกรรมของของ
ไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3
รูปแบบ จากการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่
มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายแสดงแรงดันของ
ของไหลที่มากกระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายน้อยที่สุด
เนื่องจากการกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสม ทำให้
พื้นที่ผิวของเรือที่สัมผัสกับน้ำน้อย

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร
10 ศีพาย ในระยะทาง 200 เมตร พบว่าการจัดรูปแบบ
ตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือที่เหมาะสมที่สุดคือ รูปแบบที่
2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย
เนื่องจากการวิเคราะห์ดีที่สุด จากผลการวิเคราะห์
ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่าตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือ
เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร
หากมีการจัดตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือให้มีความสมดุล
จะทำให้มีแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย
มังกรมากที่สุด ส่งผลให้พื้นที่ผิวของเรือที่สัมผัสกับน้ำน้อย
เป็นผลให้แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือ
มังกรลดลง และทำให้ความเร็วในรูปแบบนี้มีค่ามากกว่า
รูปแบบอื่น ในขณะที่ใช้เวลาในการพายน้อยที่สุดใน
ระยะทาง 200 เมตร

5. ข้อเสนอแนะ

- 1) ขยายขอบเขตการศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพาย
มังกรใน 3 มิติ เพื่อให้ได้พฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่สมจริง
ยิ่งขึ้น
- 2) ควรพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วใน
การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร เช่น อัตราการพายเรือ
เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องมากขึ้น
- 3) ควรคำนึงถึงหลักสรีรวิทยา เช่น พิจารณาความล้า
ของกล้ามเนื้อ เพราะการพายนั่นมีช่วงที่นักพายเรือ
เกิดความล้าทำให้ค่าแรงที่นำมาพิจารณามีความ
คลาดเคลื่อน

4) ขยายขอบเขตการศึกษาระยะทางในการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร ตามกติกการแข่งขัน เช่น 500 เมตร 1,000 เมตร และ 2,000 เมตร เพื่อดูพฤติกรรมของของไหลที่มากระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] TP. Martin and JS. Bernfield "Effect of stroke rate on velocity of a rowing," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 12, no. 4, pp. 250-256, 1980.
- [2] M. J. Hofmijster, E. H. Landman, R. M. Smith and A. J. Van Soest, "Effect of stroke rate on the distribution of net mechanical power in rowing," *J Sports Sci*, vol. 25, no. 4, pp. 403-411, 2007.
- [3] J. Gomory, K. Ball and R. Stokes, "A system to measure the kinematics, kinetics and effort of dragon boat paddling," *Procedia Engineering*, vol. 13, pp. 457-463, 2011.
- [4] S. Karmanov and F. L. Chernousko, "Simple Modelling of the Rowing Process," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 1, pp. 829-833, 2015.
- [5] P. Rachnavy, "Rowing Parameters for Optimal Effectiveness in Sculling," Doctoral dissertation, Suranaree University, 2007.
- [6] L. Formaggia, E. Miglio, A. Mola and A. Montano, "A model for the dynamics of rowing boats," *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 61, no. 2, pp. 119-143, 2009.
- [7] C. Sawade, S. Turnock, A. Forrester and M. Toward, "Improved rehabilitation and training techniques through the use of motion simulation – Core strength conditioning for elite rowers," *Procedia Engineering*, vol. 34, pp. 646-651, 2012.
- [8] A. G. Elkafas, M. M. Elgohary and A. E. Zeid, "Numerical study on the hydrodynamic drag force of a container ship model," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 58, no. 3, pp. 849-859, 2019.
- [9] E. Giraldo-Pérez, E. Betancur and G. Osorio-Gómez, "Experimental and statistical analysis of the hydrodynamic performance of planing boats: A Comparative study," *Ocean Engineering*, vol. 262, 2022.
- [10] A. Dudhia. Physics of Rowing [online]. Available: <http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/index>
- [11] M. van Holst. (2004). Simulation of Rowing [Online]. Available: <http://home.hccnet.nl/m.holst/report.html>
- [12] D.-L. S. F. HOERNER. FLUID-DYNAMIC DRAG [online]. Available: https://ia600707.us.archive.org/13/items/FluidDynamicDragHoerner1965/Fluid-dynamic_drag_Hoerner_1965_text.pdf
- [13] A. G. Elkafas, M. M. Elgohary and A. E. Zeid, "Numerical study on the hydrodynamic drag force of a container ship model," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 58, no. 3, pp. 849-859, 2019.
- [14] M. Kaewbumrung, T. Sukchana, C. Jaiboonma, A. bumrungrkit, S. Sirikasemsuk, C.

Khurukijwanich, R. Thipsena, W. Chayinthu, K. Nutasarin, K. C. Sitthiwang and C. Plengsard. "Numerical study to predict airflow under the roof garret for Wat Chang Yai Phra Nakhon Si Ayutthaya Province," *Journal of Industrial Technology and Innovation*, vol.2, no.1, pp. 1-14, 2023.

- [15] ANSYS. Ansys Fluent 12.0 Theory Guide [online]. Available: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node1.htm>
- [16] I. D. B. Federation. Manufacturers' Licencing Schemes for Racing Dragon Boats and Recing Paddles [online]: Available: www.idbf.org
- [17] M.-G. Seo, Y. Kim, and D.-M. Park, "Effect of internal sloshing on added resistance of ship," *Journal of Hydrodynamics*, vol. 29, no. 1, pp. 13-26, 2017.
- [18] A. Dudhia. Effect of Weight in Rowing [online]. Available: <http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/weight.html>
- [19] B. Suwasono, H. M. A. Akbar, A. Sahir and A. Munazid, "Outrigger RC Boat Model Hull Development as A High Speed Craft Based on Resistance and Lift Force," *Procedia Engineering*, vol. 194, pp. 197-202, 2017.