



การจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน
THE SIMULATION OF ROWING MOTION FOR COMPETITION DEVELOPMENT



จิราพร कुโนภาส

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน



ปฏิญานินพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE SIMULATION OF ROWING MOTION FOR COMPETITION DEVELOPMENT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF ENGINEERING
(Mechanical Engineering)

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน
ของ
จิราพร คุณินภาส

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลิ่นบุญ)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ) (รองศาสตราจารย์ ดร.สงกรานต์ วิริยะศาสตร์)

ชื่อเรื่อง	การจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน
ผู้วิจัย	จิราพร คุโนภาส
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ประชา บุญยวานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมศักดิ์ เสนาคำ

กีฬาเรือม้งกรเป็นกีฬาเรือพายชนิดหนึ่งที่ได้รับการบรรจุไว้ในรายการแข่งขันทั้งในระดับชาติและนานาชาติ โดยประเภทของการแข่งขันกีฬาเรือพายชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ 10 ฝีพาย และ 20 ฝีพาย ซึ่งน้ำหนักของนักพายเรือจึงถือได้ว่าเป็นมวลส่วนใหญ่ของการพายเรือม้งกร และเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย หากสามารถจัดตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือได้อย่างเหมาะสม จะทำให้เรือพายมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายม้งกร 10 ฝีพาย ในระยะทาง 200 เมตร และหารูปแบบตำแหน่งที่ดีที่สุดของนักพายเรือ ตลอดจนศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่มาก่อการก่อกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้เป็นนักพายเรือม้งกรชายทีมชาติไทยจำนวน 12 คน จากนั้นทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือเพื่อใช้ทำนายความเร็วและเวลาในการพาย แรงต้านทานและแรงยกที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย โดยใช้โปรแกรม Ansys Workbench สร้างแบบจำลองการพายและคำนวณหาผลลัพธ์ ทำการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ ออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย (2) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย (3) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือพายมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด จากการศึกษาพบว่ารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือพายมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุดคือการจัดรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือมีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย เนื่องจากมีการกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสม ทำให้มีค่าแรงต้านที่กระทำต่อการเคลื่อนที่เรือพายน้อยที่สุดอยู่ที่ 339.156 นิวตัน และมีค่าแรงยกมากที่สุดอยู่ที่ 9,268.35 นิวตัน เป็นผลให้มีค่าความเร็วในการพายมากที่สุดอยู่ที่ 3.817 เมตรต่อวินาที ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการพายน้อยที่สุดอยู่ที่ 53.00 วินาที เมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นการจัดตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการแข่งขันกีฬาเรือพายม้งกร และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดแก่วงการกีฬาเรือพายม้งกรต่อไป

คำสำคัญ : เรือม้งกร, การพาย, เรือพาย

Title	THE SIMULATION OF ROWING MOTION FOR COMPETITION DEVELOPMENT
Author	JIRAPORN KHUNOPAST
Degree	MASTER OF ENGINEERING
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Pracha Bunyawanichakul
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Tanormsak Senakham

Dragon boating is a rowing sport at the national and international level. It can be divided into two types as 10 rowers and 20 rowers. The weights of rowers are considered the main mass of dragon boat rowing and the most important variable of how a dragon boat moves. If the weights of rowers are arranged appropriately, a dragon boat can reach maximum efficiency in racing. As a consequence, this research aimed to study the movement of 10 dragon boat rowers in 200 meters and to identify the best positions of rowers and to study fluid flow behavior affecting the movement of dragon boats. The research participants were 12 male rowers on the Thailand dragon boat national team. A mathematical model was developed to predict speed and time of rowing, resistance and lift that affect dragon boat movement 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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับมหาบัณฑิตในหัวข้อเรื่อง การจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ปริญญาานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนความรู้ทางวิชาการ และแนวคิดในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำปริญญาานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสมาคมกีฬาเรือพายมังกรแห่งประเทศไทย ที่กรุณาให้ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับกีฬาเรือพายมังกร

ขอขอบพระคุณบุคลากรของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ น้องๆ บัณฑิตศึกษา วิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้อง ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสมอมา

จิราพร คุณภาส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฟิสิกส์สำหรับการพายเรือมังกร	4
2.1.1 การขับเคลื่อน	4
2.1.2 ความหนืดของของไหล	5
2.1.3 พลังงานจลน์.....	6
2.1.4 จุดศูนย์กลางมวล	7
2.1.5 การเปลี่ยนแปลงความเร็ว.....	9
2.2 แรงที่กระทำกับการพายเรือมังกร	9
2.2.1 แรงต้านทาน	9
2.2.2 แรงยก	11

2.2.3 แรงที่กระทำต่อเรือ	12
2.2.4 แรงที่กระทำต่อใบพาย.....	16
2.2.5 แรงที่กระทำต่อนักพายเรือ	18
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือมังกร	20
2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของการพายเรือ.....	20
2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือ.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	26
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	26
3.1.1 เรือพายมังกร	26
3.1.2 เครื่องพายเรือ (Rowing Ergometer).....	27
3.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	30
3.1.4 โปรแกรม Ansys Workbench.....	30
3.2 การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเชิงปฏิบัติ.....	31
3.2.1 รูปแบบการพายเรือมังกร	31
3.2.2 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรเชิงปฏิบัติ	33
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือมังกร	34
3.3.1 สมการการเคลื่อนที่.....	34
3.3.2 แรงต้านทานที่กระทำต่อตัวเรือ.....	35
3.3.2.1 แรงต้านทานอากาศ	35
3.3.2.2 แรงต้านทานน้ำ	35
3.3.3 แรงยก.....	37
3.3.4 งานของระบบ	37
3.3.5 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.....	38

3.3.5.1 ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์.....	38
3.3.5.2 แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k - \omega$ SST.....	39
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	42
3.4.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	42
3.4.2 แบบจำลองและคุณสมบัติของเรือพายมังกง	43
3.4.2.1 แบบจำลอง	43
3.4.2.2 คุณสมบัติของเรือพายมังกง.....	43
3.4.3 เงื่อนไขขอบเขต.....	44
3.4.3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Numerical Model).....	44
3.4.3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการจำลอง.....	46
3.4.3.3 คุณสมบัติของของไหล	47
3.4.4 การวิเคราะห์แบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench.....	47
3.4.4.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study)	47
3.4.4.2 การเตรียมแบบจำลอง.....	50
3.4.4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก	52
3.4.4.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกง	52
3.5 การค้นหารูปแบบตำแหน่งนักพายเรือ	53
3.5.1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ รูปแบบที่ 1.....	54
3.5.2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ รูปแบบที่ 2	55
3.5.3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือ รูปแบบที่ 3.....	56
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	57
4.1 การกระจายตัวของน้ำหนัก	57
4.1.1 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1	57

4.1.2 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2	59
4.1.3 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3	60
4.2 การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ในระยะทาง 200 เมตร	61
4.2.1 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 เมตร	62
4.2.1.1 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	64
4.2.1.2 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงกลางการพาย	65
4.2.1.3 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงท้ายการพาย	66
4.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร	67
4.2.2.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	69
4.2.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย	70
4.2.2.3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย	71
4.3 พฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร	71
4.3.1 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร	72
4.3.1.1 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	75
4.3.1.2 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย	76
4.3.1.3 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย	77
4.3.2 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร	78
4.3.2.1 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	80
4.3.2.2 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย	81
4.3.2.3 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย	82

4.3.3 ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในระยะทาง 200 เมตร ทั้ง 3 รูปแบบ.....	83
4.4 รูปแบบการจัดตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือที่เหมาะสมที่สุด.....	84
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผล.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
บรรณานุกรม.....	2
ภาคผนวก.....	6
ภาคผนวก ก ระเบียบและกติกาการแข่งขันของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ ฉบับที่ 6.....	7
ภาคผนวก ข แบบเรือพายมั่งกร.....	14
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมั่งกร ในระยะทาง 200 เมตร.....	16
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกร ในระยะทาง 200 เมตร.....	23
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกร ในระยะทาง 200 เมตร.....	30
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมั่งกร ในระยะทาง 200 เมตร.....	37
ภาคผนวก ช ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench.....	44
ภาคผนวก ซ ประกาศนียบัตรการเข้ารับการอบรมโปรแกรม Ansys Workbench.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 คุณสมบัติของเรือพายมังกร	43
ตาราง 2 คุณสมบัติของขงไหล	47
ตาราง 3 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 1	48
ตาราง 4 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 2	49
ตาราง 5 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 3	50
ตาราง 6 น้ำหนักและแรงของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ รูปแบบที่ 1	54
ตาราง 7 น้ำหนักและแรงของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ รูปแบบที่ 2	55
ตาราง 8 น้ำหนักและแรงของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือ รูปแบบที่ 3	56
ตาราง 9 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1	58
ตาราง 10 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2	59
ตาราง 11 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3	61
ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่เรือพายมังกร 10 ผีพาย ในระหว่าง 200 เมตร	84

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 เรือก่อนการพายและหลังการพาย	4
ภาพประกอบ 2 ความหนืดของของไหล	5
ภาพประกอบ 3 จุดศูนย์กลางมวล	7
ภาพประกอบ 4 แรงกระทำต่อระบบการพายเรือมังกร	12
ภาพประกอบ 5 มุมการเคลื่อนที่ของใบพาย	16
ภาพประกอบ 6 แรงจุดและแรงยกของใบพายโดยใช้ Flat Plate	18
ภาพประกอบ 7 แรงกระทำต่อนักพายเรือ	19
ภาพประกอบ 8 เรือพายมังกร	26
ภาพประกอบ 9 เครื่องพายเรือ Ergometer	27
ภาพประกอบ 10 เริ่มต้นการใช้งานเครื่องพายเรือ	28
ภาพประกอบ 11 การทดสอบเครื่องพายเรือในจังหวะแรก	28
ภาพประกอบ 12 การทดสอบเครื่องพายเรือในจังหวะที่สอง	29
ภาพประกอบ 13 สิ้นสุดการทดสอบเครื่องพายเรือ	29
ภาพประกอบ 14 เครื่องชั่งน้ำหนัก	30
ภาพประกอบ 15 โปรแกรม Ansys Workbench	30
ภาพประกอบ 16 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 1	31
ภาพประกอบ 17 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 2	32
ภาพประกอบ 18 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 3	32
ภาพประกอบ 19 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 4	33
ภาพประกอบ 20 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรเชิงปฏิบัติ	33
ภาพประกอบ 21 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	42

ภาพประกอบ 22 แบบจำลองและขนาดของเรือพายมังกร	43
ภาพประกอบ 23 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่ 1	44
ภาพประกอบ 24 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่ 2	45
ภาพประกอบ 25 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่ 3	45
ภาพประกอบ 26 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 1	48
ภาพประกอบ 27 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 2	49
ภาพประกอบ 28 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 3	50
ภาพประกอบ 29 แบบจำลองรูปแบบที่ 1	51
ภาพประกอบ 30 แบบจำลองรูปแบบที่ 2	51
ภาพประกอบ 31 แบบจำลองรูปแบบที่ 3	52
ภาพประกอบ 32 การกระจายตัวของน้ำหนัก	52
ภาพประกอบ 33 การวิเคราะห์แรงและความเร็วของเรือ	53
ภาพประกอบ 34 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ รูปแบบที่ 1	54
ภาพประกอบ 35 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ รูปแบบที่ 2	55
ภาพประกอบ 36 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือ รูปแบบที่ 3	56
ภาพประกอบ 37 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1	57
ภาพประกอบ 38 Contour การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1	58
ภาพประกอบ 39 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2	59
ภาพประกอบ 40 Contour การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2	59
ภาพประกอบ 41 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3	60
ภาพประกอบ 42 Contour การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3	60
ภาพประกอบ 43 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรทั้ง 3 รูปแบบ	62
ภาพประกอบ 44 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 เมตร	63

ภาพประกอบ 45 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	64
ภาพประกอบ 46 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงกลางการพาย	65
ภาพประกอบ 47 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงท้ายการพาย	66
ภาพประกอบ 48 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบ	67
ภาพประกอบ 49 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร	68
ภาพประกอบ 50 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	69
ภาพประกอบ 51 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย	70
ภาพประกอบ 52 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย	71
ภาพประกอบ 53 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบ	72
ภาพประกอบ 54 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร	73
ภาพประกอบ 55 Contour แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรรูปแบบที่ 1 ..	73
ภาพประกอบ 56 Contour แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรรูปแบบที่ 2 ..	74
ภาพประกอบ 57 Contour แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรรูปแบบที่ 3 ..	74
ภาพประกอบ 58 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	75
ภาพประกอบ 59 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย ..	76
ภาพประกอบ 60 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย	77
ภาพประกอบ 61 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบ	78
ภาพประกอบ 62 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร	79
ภาพประกอบ 63 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย	80
ภาพประกอบ 64 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย	81
ภาพประกอบ 65 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย	82
ภาพประกอบ 66 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายรูปแบบที่ 1	83
ภาพประกอบ 67 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายรูปแบบที่ 2	83

ภาพประกอบ 68 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายรูปแบบที่ 3 83



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในประเทศไทยได้มีการจัดการแข่งขันเรือพายขึ้นตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา และได้มีการจัดการแข่งขันอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน กีฬาเรือพายสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท อาทิ เช่น เรือยาวมังกร เรือแคนูคายัค เรือกรรเชียง เรือแคนูสลาลอม เรือแคนูโปโล เป็นต้น (สมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย, 2561) โดยแต่ละท้องถิ่นจะมีรูปแบบการแข่งขันที่ต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย ในปัจจุบันเรือพายเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นกีฬาที่ช่วยพัฒนาความแข็งแรงของร่างกายและจิตใจ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการแข่งขันเรือมังกร (Dragon boat racing) เพราะเป็นกีฬาเรือพายชนิดหนึ่งซึ่งได้รับการบรรจุไว้ในรายการแข่งขันกีฬาระดับชาติและนานาชาติ (IDBF, 2016) การแข่งขันเรือพายชนิดนี้เป็นสัญลักษณ์ของความสมัครสมานสามัคคีและสร้างความตื่นตัวสนุกสนานให้กับผู้ชม เนื่องจากตามกติกาการแข่งขันอย่างเป็นทางการนั้น ผู้เข้าแข่งขันต้องใช้เรือมังกร (Dragon boat) ภายในเรือประกอบด้วยนักพายเรือซึ่งมีตำแหน่งพาย (Paddler) 10 หรือ 20 พาย ร่วมกับคนตีกลอง (Drummer) 1 คน และคนคัดท้าย (Helm) 1 คน เมื่อมีสัญญาณปล่อยเรือ นักพายเรือจะโน้มตัวพร้อมกับเหยียดแขนไปข้างหน้าแล้วจ้วงใบพาย (Blade) ลงไปในน้ำก่อนที่จะออกแรงดึงใบพายกลับมาด้านหลังเป็นรอบ ๆ หรือเป็นสโตรก (Stroke) อย่างพร้อมเพียงกัน โดยมีคนตีกลองเป็นผู้ให้สัญญาณความถี่ในการพายเรือ และคนคัดท้ายเป็นผู้บังคับทิศทางของเรือเพื่อให้เรือเคลื่อนไปข้างหน้าให้เร็วที่สุด หรือใช้ระยะเวลาให้น้อยที่สุดภายใต้ระยะทางที่กำหนด ทั้งนี้ระยะทางที่ใช้ในการแข่งขันพายเรือมังกรอย่างเป็นทางการมีตั้งแต่ 200 เมตรไปจนถึง 2,000 เมตร ระยะทางที่นิยมใช้ในการแข่งขันเรือมังกรได้แก่ระยะทางที่ 200 เมตร 500 เมตร และ 1,000 เมตร

ในการแข่งขันพายเรือมังกรนั้น รูปทรงและน้ำหนักของเรือ น้ำหนักและตำแหน่งของนักพายเรือ แรงของนักพายเรือที่ใช้ในการพาย สัมประสิทธิ์แรงต้านทานเรือ แรงยก ความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายทั้งสิ้น

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือ มีการศึกษาทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงทดลอง ในการศึกษาเชิงทดลองนั้นเป็นการศึกษาข้อมูลทางด้านคิเนเมติกส์และทางด้านไดนามิกของการพายเรือ โดยทำการศึกษาความเร็วของเรือ ศึกษาความเร็วเชิงมุมของใบพาย ศึกษาแรงกระทำต่อเรือและใบพาย ซึ่งเป็นการวัดข้อมูลโดยตรงจากการพายเรือ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนและไม่

สมจริง (Celentano et al., 1974; Gomory et al., 2011; Greidanus et al., 2016) ส่วนการศึกษาเชิงทฤษฎีนั้น ได้มีการศึกษาการพายเรือ โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความเร็วของเรือ ตลอดจนศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือ (Formaggia et al., 2009; Karmanov & Chernousko, 2015) โดยส่วนใหญ่จะมีหลักการและแนวความคิดที่คล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันในรายละเอียดการใช้งาน ต่อมามีการพัฒนาการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือให้มีความสมจริงมากขึ้น โดยใช้หลักการทางสรีรวิทยาควบคู่ไปกับหลักการทางกลศาสตร์ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจสอบผลลัพธ์ โดยทำการศึกษารูปแบบการพายเรือ อัตราการเต้นของหัวใจ และรูปแบบการหายใจของนักพายเรือ (Elkafas et al., 2019; Robert et al., 2014; ราชนาวิ, 2550) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าไม่มีการศึกษาวิจัยถึงน้ำหนักของนักพายเรือ ซึ่งเป็นมวลส่วนใหญ่ของการพายเรือ ประมาณร้อยละ 70-80 ของมวลทั้งหมด (Dudhia, 2023)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและจำลองการเคลื่อนที่ของเรือมังกร ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench ในการวิเคราะห์หาความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบในการจัดหารูปแบบตำแหน่งที่ดีที่สุดของนักพายเรือ ที่ทำให้เรือมีสมรรถนะในการแข่งขันสูงสุด การศึกษาดังกล่าวนี้ทำให้ทราบถึงข้อมูลการคำนวณพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของเรือพายจริงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดแก่วงการกีฬาเรือพายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร

1.2.2 หารูปแบบตำแหน่งที่ดีที่สุดของนักพายเรือที่ทำให้เรือพายมังกรมีความสามารถในการแข่งขันสูงสุด

1.2.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่มากกระทบกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรที่ส่งผลต่อความเร็ว

1.2.4 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับการแข่งขันการพายเรือมังกร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เรือพายที่ใช้ เป็นเรือมังกร 10 ฝีพาย ระยะทาง 200 เมตร

1.3.2 ใช้โปรแกรม Ansys Workbench ในวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพาย

1.3.3 ทำการสลับรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือ ใน 3 รูปแบบ เพื่อหาแบบการพายเรือที่ทำให้เรือพายมังกรเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการแข่งขัน
- 1.4.2 ทำให้ทราบถึงผลกระทบของน้ำหนักนักพายเรือที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกร
- 1.4.3 เพิ่มประสิทธิภาพของการแข่งขันเรือพายมั่งกร
- 1.4.4 เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพายเรือมั่งกร



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

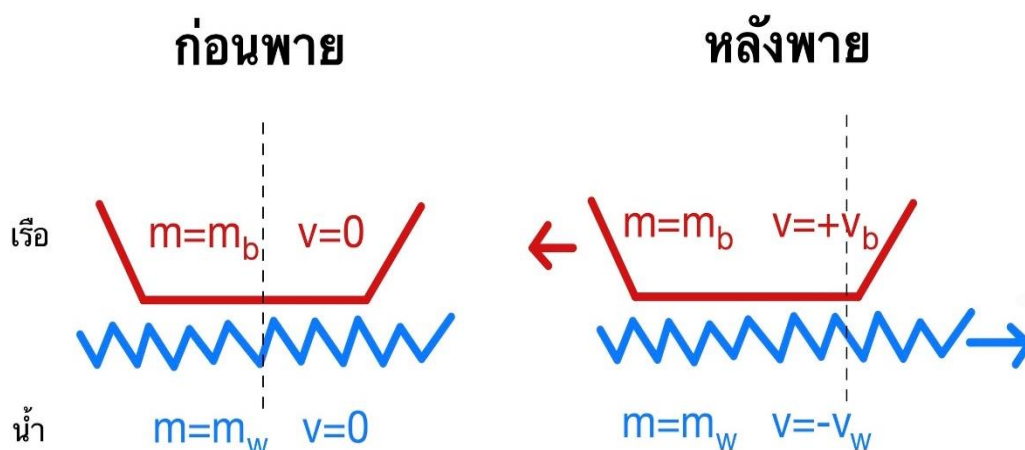
การพายเรือมังกรให้เร็วที่สุดในระยะทาง 200 เมตร ต้องอาศัยความรู้ ทักษะและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพายเรือมังกรทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาความเร็วของการพายเรือมังกร ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ฟิสิกส์สำหรับการพายเรือมังกร

สามารถอธิบายการพายเรือมังกรได้ด้วยกฎฟิสิกส์ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงกายภาพของการพายเรือ ดังต่อไปนี้

2.1.1 การขับเคลื่อน

ขณะที่นักพายเรือกำลังพายเรือจะดันไม้พายไปด้านหลัง ทำให้เกิดความเร่ง ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เมื่อมีแรงที่ใบพายกระทำต่อน้ำเป็นแรงกิริยา ทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางหนึ่ง เป็นผลให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้าซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยา ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน โดยโมเมนต์ที่ใบพายกระทำกับน้ำจะเท่ากับโมเมนต์ที่น้ำกระทำกับใบพาย แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน พิจารณาดังภาพประกอบ 1 แสดงถึงเรือก่อนการพายและหลังการพาย

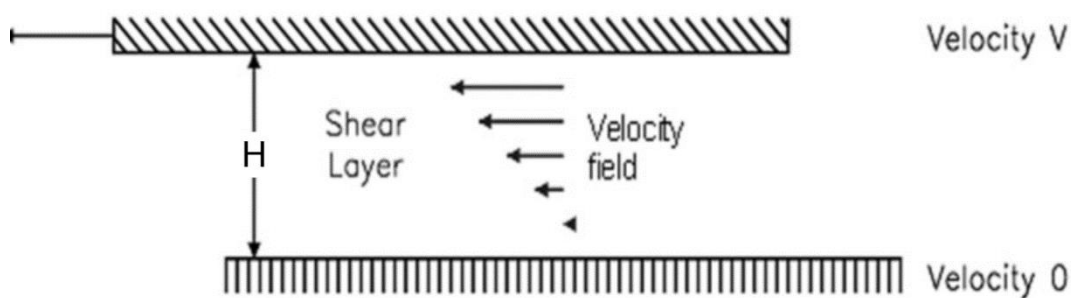


ภาพประกอบ 1 เรือก่อนการพายและหลังการพาย

พิจารณาเรือก่อนการพายและหลังการพาย โดยก่อนการพายโมเมนตัมรวมจะเท่ากับ ศูนย์ $p_{total} = 0$ เนื่องจากเรือหยุดนิ่ง และหลังการพายโมเมนตัมทั้งหมดเท่ากับ $p_{total} = m_b v_b - m_w v_w = 0$ ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Dudhia, 2023)

2.1.2 ความหนืดของของไหล

ความหนืด คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ จากการพิจารณาการไหลผ่านแผ่นระนาบสองแผ่นที่วางซ้อนกัน โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นระนาบเท่ากับ H ดังแสดงในภาพประกอบ 2 เมื่อแผ่นระนาบบนถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V แผ่นระนาบด้านล่างถูกยึดอยู่กับที่ ของไหลที่อยู่ติดกับแผ่นระนาบบนจะถูกลากตามไปด้วยความเร็ว V ส่วนของไหลที่อยู่ติดกับแผ่นระนาบด้านล่างจะอยู่กับที่ ความลาดเอียงของความเร็วจึงเรียกว่า Velocity Gradient



ภาพประกอบ 2 ความหนืดของของไหล

ที่มา: The Physics of Rowing (Pulman, 2012)

สำหรับการพิจารณาแรงต้านทานของเรือที่เกิดจากความหนืด สามารถอธิบายได้

ดังนี้

$$R = \mu \frac{dv}{dz} \quad (2-1)$$

เมื่อ R คือ แรงต้านทานของเรือที่เกิดจากความหนืด

μ คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด

$$\text{และ} \quad \frac{dy}{dz} = \frac{V}{H}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R = \frac{V}{H} \quad (2-2)$$

จากการพิจารณาพบว่าแรงเฉือนที่เกิดจากความหนืดในส่วนของแผ่นระนาบด้านบนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเร็ว อย่างไรก็ตามจะสามารถใช้กรณีนี้ได้เมื่อความยาวในแนวระนาบมากกว่าการแยกตัวในแนว H โดยที่ Shear Layer มีค่าคงที่ตลอดแนวความยาว ดังนั้นการพิจารณานี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเรือมังกรได้ (Pulman, 2012)

2.1.3 พลังงานจลน์

จากการพิจารณาการเคลื่อนที่ของเรือพาย ความเร็วของเรือที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำมวลน้อยอย่างรวดเร็ว และความเร็วของเรือที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำจำนวนมากอย่างช้า ๆ มีโมเมนตัมของการพายเท่ากัน โดยสามารถพิจารณาพลังงานจลน์ทั้งหมดหลังจากการพาย

คือ $E_k = \frac{1}{2} \times \text{mass} \times \text{velocity}^2$ ดังนั้นพลังงานจลน์ของการพายทั้งระบบคือ

$$E_k = \frac{1}{2} m_b v_b^2 + \frac{1}{2} m_w v_w^2 \quad (2-3)$$

เมื่อ E_k คือ พลังงานจลน์ทั้งหมด

m_b คือ มวลของเรือ

V_b คือ ความเร็วของเรือ

m_w คือ มวลของน้ำ

V_w คือ ความเร็วของน้ำ

พิจารณาตัวอย่าง 2 ตัวอย่างต่อไปนี้มีค่าโมเมนตัมเท่ากัน แต่จะได้ผลลัพธ์ค่าพลังงานที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้ $m_b = 120\text{kg}$ $v_b = 2\text{m/s}$ $m_w = 20\text{kg}$ $v_w = 20\text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2} \times 120 \times 2^2 + \frac{1}{2} \times 20 \times 20^2 = 240 + 4000 = 4,240\text{J} = 4.24\text{kJ}$$

ตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้ $m_b = 120\text{kg}$ $v_b = 2\text{m/s}$ $m_w = 40\text{kg}$ $v_w = 10\text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2} \times 120 \times 2^2 + \frac{1}{2} \times 40 \times 10^2 = 240 + 2000 = 2,240\text{J} = 2.24\text{kJ}$$

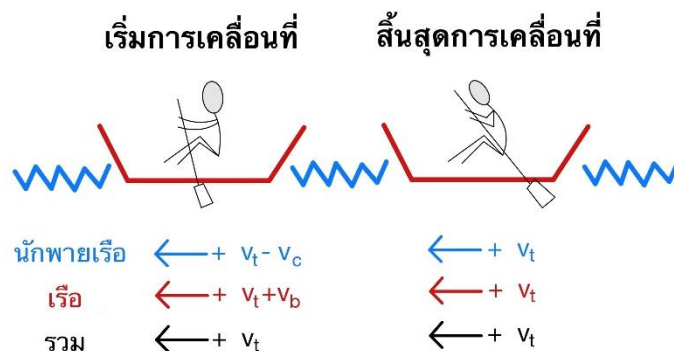
จากการพิจารณาทั้งสองตัวอย่างข้างต้น ทำให้ทราบว่าพลังงานจลน์นี้แสดงถึงงานเชิงกลที่กระทำโดยนักพายเรือ โดยในตัวอย่างแรกนักพายเรือต้องใช้พลังงานมากกว่าตัวอย่างที่ 2 เกือบสองเท่า เพื่อให้ได้ความเร็วเท่ากัน ดังนั้นการเคลื่อนที่ของน้ำจำนวนมากอย่างช้า ๆ จะใช้พลังงานน้อยกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำมวลน้อยอย่างรวดเร็ว ข้อมูลเหล่านี้สนับสนุนแนวคิดที่ว่าใบพายขนาดใหญ่ดีกว่าใบพายขนาดเล็ก (Dudhia, 2023)

2.1.4 จุดศูนย์กลางมวล

เรือมังกรประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบหลัก คือ

1. นักพายเรือ คิดเป็นร้อยละ 70-80 ของมวลทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นมวลส่วนใหญ่ของเรือ
2. เรือ คิดเป็นร้อยละ 20-30 ของมวลทั้งหมด
3. ใบพาย น้อยกว่าร้อยละ 5 ของมวลทั้งหมด ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่จะไม่พิจารณามวลของใบพาย

จุดศูนย์กลางทั้งหมด สามารถหาได้จากการนำค่าเฉลี่ยน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบคือ ตำแหน่งนักพายเรือ ตำแหน่งเรือ ตำแหน่งใบพาย ทั้งหมดมารวมกัน โดยจุดศูนย์กลางน้ำหนักแต่ละองค์ประกอบต้องเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน และจุดศูนย์กลางทั้งหมดนั้นจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือโมเมนตัมได้ เว้นแต่จะมีแรงภายนอกมากระทำ ถ้าน้ำหนักนักพายเรื่อนั่งอยู่บนเรือในท่าสิ้นสุดการพาย และน้ำหนักของเรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V_r โมเมนตัมรวมทั้งหมดสามารถหาได้จาก $M_{total} = m_c v_t + m_b v_r$ ดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 จุดศูนย์กลางมวล

จากภาพประกอบ 3 ในขณะที่นักพายเรือพายเรือไปด้านหน้าและกลับมาอยู่ในท่าเริ่มต้นจะทำให้เกิดความเร็วของการพาย ซึ่งก็คือ $-V_c$ สัมพันธ์กับความเร็วทั้งหมด V_T เรือจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเรือด้วยความเร็วสัมพัทธ์กับ V_c เพื่อรักษาสมดุลโมเมนตัมดังสมการ

$$m_c v_t + m_b v_r = m_c (v_t - v_c) + m_b (v_t + v_b) \quad (2-4)$$

จะได้

$$m_c v_c = m_b v_b \quad (2-5)$$

จากสมการที่ (2-5) สามารถหาความเร็วของเรือ ได้จาก

$$v_b = \frac{m_c}{m_b} v_c \quad (2-6)$$

เมื่อ m_c คือ มวลของนักพายเรือ
 v_T คือ ความเร็วทั้งหมด
 m_b คือ มวลของเรือ
 v_b คือ ความเร็วของเรือ
 v_c คือ ความเร็วของการพาย

ถ้ามวลของนักพายเรือเป็นร้อยละ 90 ของน้ำหนักทั้งหมด จะได้ว่า $m_c = 9m_b$ และ $v_b = 9v_c$ ดังนั้นความเร็วของการพายจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $v_c = 0.1m/s$ และเรือจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าทางหัวเรือด้วยความเร็ว $0.9m/s$ ซึ่งนักพายเรือจะมองว่าเคลื่อนที่ไปได้ 1 เมตร แต่ถ้ามองในฐานะผู้สังเกตจะพบว่าเรือเคลื่อนที่ไปได้เพียง 90 เซนติเมตร เท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่ว่าแม้จะสิ้นสุดการพายแล้วแต่เรือจะดูเหมือนเคลื่อนที่ไปด้านหลัง แม้จะไม่มีแรงหรือความเร็วและจุดศูนย์กลางระบบแล้วก็ตาม เพราะความเร็วของเรือจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเท่ากับแรงปฏิกริยาในทิศตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของเรือ (Dudhia, 2023)

2.1.5 การเปลี่ยนแปลงความเร็ว

การเปลี่ยนแปลงความเร็วขณะพายเรือจะใช้พลังงานใน จากสมการ $P = a \cdot v^3$ กำหนดให้ $a = 1 \text{ kg/m}$ โดยพิจารณาจาก 2 กรณีต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วขณะพายใน 2 นาที กำหนดให้นาทีแรก นักพายเรือพายด้วยความเร็ว 3 m/s นาทีที่ 2 พายด้วยความเร็ว 5 m/s ดังนั้นระยะทางที่ได้จากการพายคือ $60 \times 4 + 60 \times 4 = 480 \text{ m}$ พลังงานทั้งหมดเท่ากับ $W = 60 \times 3^3 + 60 \times 5^3 = 9,120 \text{ J}$ และกำลังเฉลี่ยใน 2 นาที เท่ากับ 76 N

กรณีที่ 2 กำหนดให้นักพายเรือพายด้วยความเร็ว 4 m/s ทั้ง 2 นาที ระยะทางทั้งหมดที่ได้จากการพายคือ $60 \times 4 + 60 \times 4 = 480 \text{ m}$ พลังงานทั้งหมดเท่ากับ $W = 60 \times 4^3 + 60 \times 4^3 = 7,680 \text{ J}$ และกำลังเฉลี่ยใน 2 นาที เท่ากับ 64 N

จาก 2 กรณีข้างต้นจะเห็นว่า ระยะทางและเวลาทั้ง 2 กรณีมีค่าเท่ากันแต่ในกรณีที่ 2 ใช้กำลังเฉลี่ยน้อยกว่ากรณีที่ 1 ซึ่งหมายความว่า การพายด้วยอัตราที่คงที่ตลอดการแข่งขันมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่าการพายที่เริ่มต้นพายอย่างรวดเร็วแล้วค่อย ๆ ลดความเร็วลง หรือเริ่มต้นพายอย่างช้า ๆ แล้วไปเร่งการพายในภายหลัง (Dudhia, 2023)

2.2 แรงที่กระทำกับการพายเรือมั่งกร

การพายเรือมั่งกรนั้น มีแรงกระทำที่มากกระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายจำนวนมาก ซึ่งแรงกระทำเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย สามารถสรุปได้ดังนี้

2.2.1 แรงต้านทาน

วัตถุที่เคลื่อนที่ในของไหลจะเคลื่อนที่ช้าลง เนื่องจากแรงต้านทานที่เรียกว่า แรงดูด (Drag Force) โดยการส่งถ่ายโมเมนตัมจากวัตถุไปยังของไหล ของไหลที่อยู่รอบๆ จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเร็วของวัตถุนั้นช้าลง ดังนั้นโมเมนตัมรวมยังคงมีค่าคงที่

ในระบบของการพายเรือ แรงต้านทาน จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แรงต้านทานอากาศ (Aerodynamic Drag) และแรงต้านทานน้ำ (Hydrodynamic Drag) โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1.1 แรงต้านทานอากาศ

ในกีฬาเรือมั่งกรนั้นแรงต้านทานอากาศจะกระทำต่อวัตถุที่ลอยอยู่เหนือน้ำ ได้แก่ นักพายเรือ ไม้พายและเรือในส่วนที่ลอยอยู่เหนือน้ำ การคำนวณหาแรงต้านทานอากาศที่กระทำกับระบบเรือมั่งกรนั้นเป็นสิ่งที่คำนวณได้ยาก Kuyt et al. (2016) ศึกษาการลดแรงต้านอากาศที่กระทำต่อการพายเรือพบว่า แรงต้านอากาศมีน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานรวมของเรือ

ในขณะที่เคลื่อนที่ Hoerner (1965) ได้ตั้งสมมติฐานว่าแรงต้านทานอากาศเป็นสัดส่วนประมาณกำลังสองส่วนสามของน้ำหนักเฉลี่ยของนักพายเรือ

2.2.1.2 แรงต้านทานน้ำ

แรงต้านทานน้ำเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่สำคัญที่สุดของการพายเรือ หรือประมาณ 90% ของแรงต้านทานทั้งหมด แรงต้านทานน้ำประกอบด้วย แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Friction) แรงต้านทานเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันพื้นผิวของวัตถุ (Pressure Drag) และแรงต้านทานของคลื่น (Wave Drag) (Formaggia et al., 2009)

แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ Skin Friction หรือ Surface Drag คือแรงที่เกิดจากการเสียดสีของไหลกับพื้นผิวของวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับของไหล ซึ่งเรือมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) โดยชั้นของของไหลรอบๆ เรือชั้นนั้นมีการไหลแบบราบเรียบและไม่เกิดความปั่นป่วน ดังนั้นเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ที่จะเกิดความสัมผัสกับพื้นผิวของอนุภาคของของเหลวที่อยู่ข้าง ๆ และจะเกาะติดวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านของไหล โดยกลไกนี้เรียกว่า “Non-Slip” ด้วยความหนืดในชั้นนี้จะเกิดแรงต้านจึงทำให้มีความเร็วลดลง ซึ่งจะส่งผลกับชั้นของไหลที่อยู่ด้านบน กลไกดังกล่าวจะดำเนินไปจนวัตถุจะสัมผัสกับชั้นของของไหลที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวัตถุมาถึงชั้นที่ของไหลมีความเร็วคงที่หรือไม่เคลื่อนที่

แรงต้านทานเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันพื้นผิวของวัตถุ Pressure Drag หรือ Form Drag คือการกระจายความดันรอบๆ ตัวเรือ และการแยกกันของของไหลด้านหลังในส่วนที่ของไหลไหลผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่าง ความขรุขระของพื้นผิว หากของไหลสามารถเกาะกับพื้นผิวได้ดี มีการแยกตัวน้อยจะเกิด Pressure Drag น้อย เมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านตัวเรือ น้ำแยกออกจากผิวเรือบริเวณด้านท้ายทำให้เกิดการไหลวกกลับ จากการไหลวกกลับทำให้เกิดแรงดูดที่ต้านทานการเคลื่อนที่ โดยบริเวณที่เกิดความดันต่ำจะเป็นตัวกำหนดว่า จะมีแรงต้านทานกระทำต่อเรือมากแค่ไหน ซึ่งปรากฏการณ์นี้ทำให้บริเวณท้ายเรือมีความดันต่ำกว่าบริเวณด้านหน้าของเรือ

แรงต้านทานของคลื่น Wave Drag คือแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณจุดที่น้ำกับอากาศสัมผัสกัน โดยเกิดจากการเคลื่อนที่ของเรือ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงต้านของคลื่นจึงทำให้ความเร็วเรือลดลง ในบางกรณีเมื่อเรือแล่นเหนือพื้นน้ำจะปล่อยคลื่นแรงโน้มถ่วงไว้ด้านหลัง ซึ่งด้านหน้าคลื่นจะขวางกั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือ เนื่องจากคลื่นเหล่านี้มีพลังงานที่ถูกพรากออกจากเรือและกระจายไปในที่สุด โดยพลังงานที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะถูกดึงออกมาจากเรือ เป็นผลให้เรือมีความต้านทานการเคลื่อนที่

สำหรับการพิจารณาแรงต้านทานของเรือมังกร ส่วนใหญ่เกิดจากแรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Drag) เนื่องจากเป็นแรงต้านทานที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือมังกร ในส่วนของแรงต้านอากาศนั้นถือว่าเป็นแรงต้านทานของไหลอีกชนิดหนึ่ง ที่มีส่วนในการต้านทานการเคลื่อนที่ของเรือแต่มีอิทธิพลน้อยมาก ดังนั้นจึงกำหนดให้แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Drag) มีอิทธิพลต่อการต้านทานเรือสามารถเขียนได้ว่า

$$R = CV^2 \quad (2-7)$$

เมื่อ V^2 คือ กำลังสองของความเร็ว

C คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่เปียกน้ำและรูปทรงของเรือ

ในการรักษาความเร็วให้คงที่ แรงที่ใช้จะต้องเท่ากับแรงต้านทาน ซึ่งจะไม่เกิดความเร่งหรือความหน่วง ดังนั้นพลังงานที่ต้องการคือ

$$P = CV^3 \quad (2-8)$$

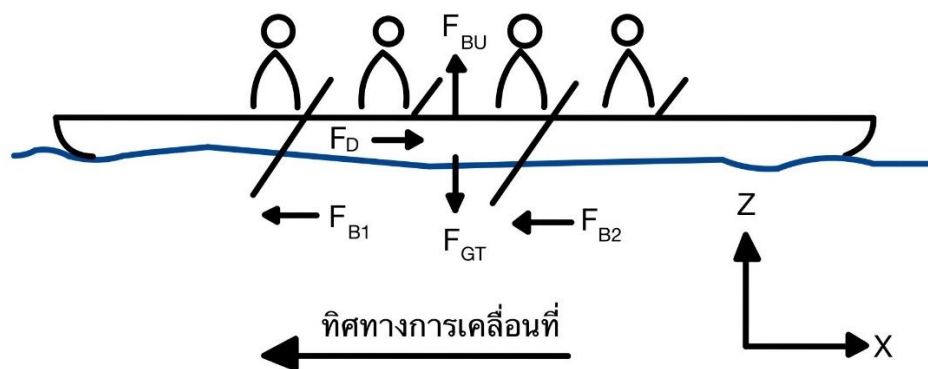
ซึ่งหมายความว่าทำให้เรือมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 8 เท่า และหากพิจารณาในทางตรงกันข้ามคือ การให้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น 1.26 เท่า (Dudhia, 2023)

2.2.2 แรงยก

แรงยก (Lift Force) คือ แรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านวัตถุ แรงยกจะกระทำกับพื้นที่ผิวสัมผัสและมุมปะทะของวัตถุที่กระทำกับของไหล ซึ่งจะถูกกำหนดให้มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของการไหล โดยแรงยกมีเพื่อปรับสมดุลของแรงที่กระทำลงมาที่บริเวณผิวน้ำ เนื่องจากน้ำหนักของตัวเรือและนักพายเรือโดยการแทนที่น้ำกับตัวเรือ ซึ่งปกติเรือจะลอยตัวขณะหยุดนิ่ง และความเร็วต่ำมากเท่านั้น แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นท้องเรือที่สามารถลื่นไถลได้จะเปลี่ยนเป็นพื้นผิวยกอย่างรวดเร็วในขณะที่ยกตัวขึ้นไปกับม้วนคลื่น เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นอีกเรือจะลอยขึ้น และด้วยความเร็วที่สูงพอแรงลอยตัวก็จะแทบไม่มีผล (McCauley, 2018)

2.2.3 แรงที่กระทำต่อเรือ

การพิจารณาระบบการเคลื่อนที่ของเรื่อนั้น จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือ คือ เรือ ไบพายและนักพาย โดยเมื่อพิจารณาถึงแรงที่มากระทำต่อระบบการเคลื่อนที่ของเรือจะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ แรงที่กระทำต่อเรือ แรงที่กระทำต่อไบพาย และแรงที่กระทำกับนักพาย ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แรงกระทำต่อระบบการพายเรือมังกร

จากสมการการเคลื่อนที่ (กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน) ในแนวแกน Z

$$F_{BU} - F_{GT} = m_T a_{Tz} \quad (2-9)$$

เมื่อ F_{BU} คือ แรงลอยตัว

F_{GT} คือ แรงโน้มถ่วงที่กระทำกับเรือ นักพายเรือและเรือ

m_T คือ มวลของระบบ

a_{Tz} คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของระบบในแนวแกน z

สมการการเคลื่อนที่ในแนวแกน x คือ

$$F_D - \sum_{i=1}^n F_{Bi} = m_T a_{Tx} \quad (2-10)$$

- เมื่อ F_D คือ แรงต้านทาน
 F_{Bi} คือ แรงที่กระทำต่อใบพาย
 m_T คือ มวลของระบบ
 a_{Tx} คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของระบบในแนวแกน x

จากภาพประกอบ 4 จะเห็นว่าในแนวดิ่ง (แกน z) มีแรง 2 อันที่มากกระทำต่อมวลของเรือ ใบพายและนักพาย เพื่อสร้างตำแหน่งที่ทำให้เกิดสภาวะสมดุลนั้นคือ แรงโน้มถ่วงและแรงลอยตัว โดยแรงลอยตัว (F_{BU}) เป็นสัดส่วนกับปริมาณการแทนที่น้ำจากความหนาแน่นและแรงโน้มถ่วง

$$F_{BU} = \rho_{H_2O} \times g \times V_{disp} \quad (2-11)$$

- เมื่อ F_D คือ แรงลอยตัว
 ρ_{H_2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำ
 g คือ ความเร่งโน้มถ่วง
 V_{disp} คือ ปริมาณการแทนที่น้ำ

เมื่อพิจารณามวลของระบบซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำและการแทนที่

น้ำ

$$m_T = m_B + m_O + m_R \quad (2-12)$$

- เมื่อ m_T คือ มวลของระบบ
 m_B คือ มวลของเรือ
 m_O คือ มวลของใบพาย
 m_R คือ มวลของนักพายเรือ

ในระหว่างการเคลื่อนที่ของนักพาย มวลของนักพายจะมีการเคลื่อนที่ซึ่งจะทำให้ผิว น้ำบริเวณหัวเรือเกิดการกระเพื่อมในแนวระดับน้ำประมาณ 4-5 เซนติเมตร ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำบริเวณหน้าเรือมีมากขึ้น ส่งผลให้แรงต้านทานที่กระทำต่อระบบมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน

โดยในแนวระนาบการเคลื่อนที่ (แกน x) แรงต้านทานและแรงขับเคลื่อนเป็นแรงที่กระทำต่อแรงของระบบการเคลื่อนที่ของเรือ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงปฏิกริยาระหว่างใบพายกับน้ำ โดยแรงต้านทานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แรงต้านทานน้ำ และแรงต้านทานอากาศ ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของการเคลื่อนที่

$$F_D = F_{AD} + F_{HD} \quad (2-13)$$

เมื่อ F_D คือ แรงต้านทานทั้งหมด

F_{AD} คือ แรงต้านทานอากาศ

F_{HD} คือ แรงต้านทานน้ำ

ในการเคลื่อนที่ของเรือแรงต้านทานของอากาศนั้นจะมีผลกระทบต่อพื้นที่หน้าตัดของเรือ ความเร็วและสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทาน โดยอย่างไรก็ตามในระบบการเคลื่อนที่ของเรือแรงต้านทานของอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่เพียง 10% ของแรงต้านทานทั้งหมดของระบบ ดังนั้นทำให้การกระเพื่อมของน้ำนั้นส่งผลต่อแรงดูดของอากาศเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น การกระเพื่อมที่ 6 cm. จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของเรือที่โดนอากาศเพิ่มขึ้นเพียง 330 cm^2 เท่านั้น เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเรือ $8,690 \text{ cm}^2$ มีการเปลี่ยนแปลงแค่ 3.8% และผลกระทบของใบพายต่อแรงดูดของอากาศนั้นมีผลน้อยมากเนื่องมาจากน้ำหนักและรูปทรงของใบพาย ดังนั้นในสมการจึงใช้ค่าคงที่ทุกพจน์ยกเว้นพจน์ของความเร็ว

$$F_{AD} = \frac{\rho_A}{2} C_A A V_A^2 \quad (2-14)$$

เมื่อ F_{AD} คือ แรงต้านทานอากาศ

ρ_A คือ ความหนาแน่นของอากาศ

C_A คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่สัมผัสกับอากาศ

V_A^2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมพันธ์กับอากาศ

แรงต้านทานน้ำที่กระทำกับเรือจะประกอบด้วยแรงต้านทาน 3 ชนิด คือ แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Friction) แรงต้านทานเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันพื้นผิวของวัตถุ (Pressure Drag) และแรงต้านทานของคลื่น (Wave Drag)

$$F_{HD} = F_{HDs} + F_{HDp} + F_{HDw} \quad (2-15)$$

เมื่อ F_{HDs} คือ แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ

F_{HDp} คือ แรงต้านทานจากความแตกต่างของแรงดันพื้นผิวของวัตถุ

F_{HDw} คือ แรงต้านทานของคลื่น

โดยแรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ (Skin Friction Drag) เป็นแรงต้านทานที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อการแข่งขันเรือพายโดยมีค่าประมาณ 90% ของแรงต้านทานของน้ำทั้งหมด (Dudhia, 2023; Elkafas et al., 2019; Greidanus et al., 2012; Greidanus et al., 2016)

$$F_{HD} = F_{HDs} + F_{HDp} + F_{HDw} \quad (2-16)$$

ดังนั้นแรงต้านทานทั้งหมดคือ

$$F_{HD} = 1.25 \times k \times V_w^2 \quad (2-17)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่

V_w^2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมพันธ์กับน้ำ

$$F_D = \left(\frac{1}{2} \times \rho_{air} \times C_D \times A_{r+b} \times V_A^2 \right) + (1.25 \times k \times V_w^2) \quad (2-18)$$

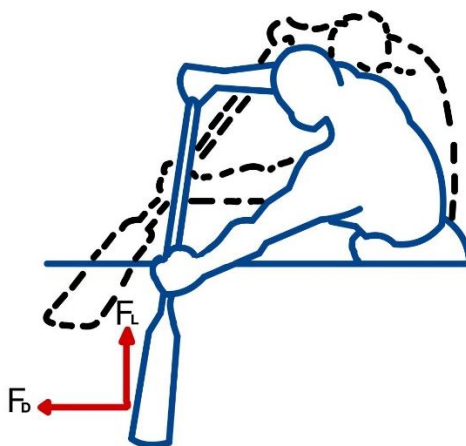
ดังนั้นแรงขับเคลื่อนที่กระทำต่อเรือสามารถอธิบายได้โดยการรวมสมการที่ (2-10) และ (2-18) เข้าด้วยกัน จะได้

$$F_B = \left(\frac{1}{2} \times \rho_{air} \times C_D \times A_{r+b} \times V_A^2 \right) + (1.25 \times k \times V_w^2) - (m_T \times a_{Tx}) \quad (2-19)$$

ซึ่งหากเราพิจารณาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเพิ่มความเร็วของเรือ เช่น วัสดุที่ใช้ทำเรือควรมีน้ำหนักเบาและแข็งแรง การทาวัดเคลือบเรือเพื่อช่วยลดแรงต้านทาน โดยปัจจัยทั้งหมดนี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้เรือสามารถเพิ่มความเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และแรงในการพายเป็นตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อการเร่งความเร็วเรือ (Baudouin et al., 2002)

2.2.4 แรงที่กระทำต่อใบพาย

ใบพายมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการพายเรือ โดยมีหน้าที่ถ่ายกำลังจากแรงที่ออกโดยนักพาย โดยใบพายจะเคลื่อนที่ในน้ำเป็นแนวโค้งดังภาพประกอบ 5 และสร้างแรงปฏิกริยากับน้ำ นั่นคือแรงต้านทานและแรงยก



ภาพประกอบ 5 มุมการเคลื่อนที่ของใบพาย

จากภาพประกอบ 5 สามารถอธิบายแรงปฏิกริยาที่กระทำกับน้ำตามแนวแกน y และ x ดังสมการที่ (2-20) และ (2-21)

$$F_{By} = F_{Dy} + F_{ly} \quad (2-20)$$

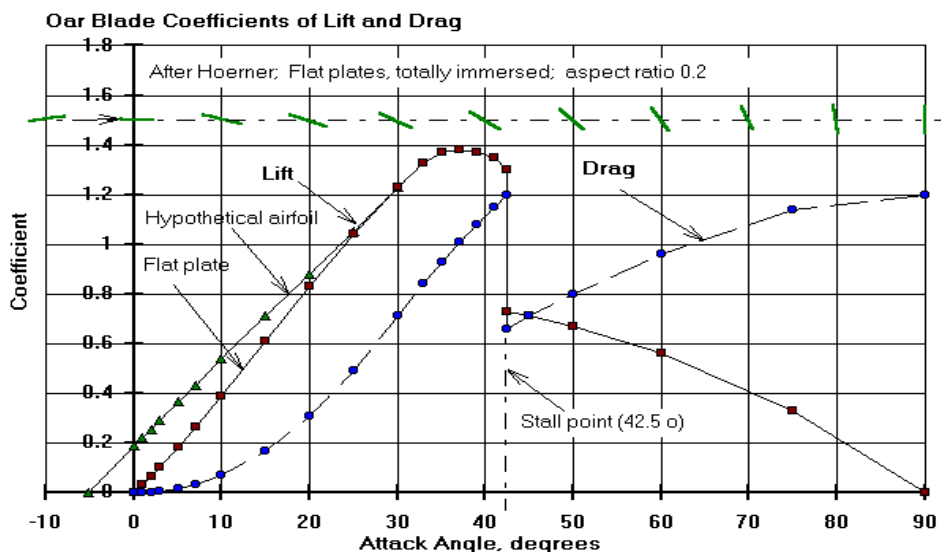
เมื่อ F_{Dy} คือ แรงต้านทานของใบพายตามแนวแกน y
 F_{ly} คือ แรงยกของใบพายตามแนวแกน y

$$F_{Bx} = F_{Dx} + F_{lx} \quad (2-21)$$

เมื่อ F_{Dx} คือ แรงต้านทานของใบพายตามแนวแกน x
 F_{lx} คือ แรงยกของใบพายตามแนวแกน x

แรงยกและแรงต้านทานทำให้เกิดการขับเคลื่อน ซึ่งมีค่าแปรผันกับขนาดของใบพาย และระยะทางเชิงมุม และขนาดของแรงที่กระทำต่อใบพายจะแปรผันตามรูปทรงของใบพาย ตำแหน่งของใบพาย และของไหลที่ไหลผ่านรอบ ๆ (Baudouin et al., 2002)

แรงที่กระทำกับใบพายประกอบด้วยแรงดูดและแรงยก โดยแรงดูดจะกระทำในทิศทางตรงข้ามการเคลื่อนที่ ส่วนแรงยกจะกระทำตั้งฉากกับแรงดูด การศึกษาการพายเรือในอดีตส่วนใหญ่จะพิจารณาแรงดูดเพียงแรงเดียวที่กระทำกับใบพาย ส่วนงานวิจัยในช่วงหลังจนถึงปัจจุบันมีการพิจารณาแรงดูดและแรงยกที่กระทำกับใบพาย โดยใช้ข้อมูลของ Air Foil และข้อมูลของ Flat Plate ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ของแรงดูดและแรงยกที่มุมปะทะต่าง ๆ แต่เนื่องจากลักษณะการทำงานของใบพายเป็นการเคลื่อนที่อยู่ในน้ำ การใช้ข้อมูลของ Air Foil จึงให้ผลการคำนวณที่ไม่ถูกต้องนัก Atkinson and C (2019) ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลของ (Hoerner, 1965) ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ Flat Plate จุ่มลงไปใต้น้ำแล้วศึกษาการเคลื่อนที่ใต้น้ำที่มุมปะทะต่าง ๆ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการพายเรือจริงมากกว่า โดยข้อมูลของแรงดูดและแรงยกโดยใช้ Flat Plate แสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แรงจุดและแรงยกของใบพายโดยใช้ Flat Plate

ที่มา: Rowing Computer Research (Atkinson & C, 2019)

ซึ่งจากการศึกษาพบว่า จะเกิดภาวะร่วงหล่น (Stall) ที่มุมกระทำประมาณ 42.5 องศา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือในปัจจุบัน (Atkinson & C, 2019)

2.2.5 แรงที่กระทำต่อนักพายเรือ

แรงกระทำบนตัวนักพายเรือประกอบด้วยแรง 3 แรง คือ แรงที่เท้า แรงบนที่นั่ง และแรงบริเวณมือ ดังภาพประกอบ 7 นักพายจะสร้างแรงที่เชื่อมด้วยลักษณะทางกลศาสตร์บริเวณที่ยืนเท้าซึ่งสัมพันธ์กับแรงที่บริเวณด้ามจับ ดังนั้นสมการเคลื่อนที่สำหรับการเคลื่อนที่สำหรับนักพายในแนวการเคลื่อนที่ (แกน x) คือ

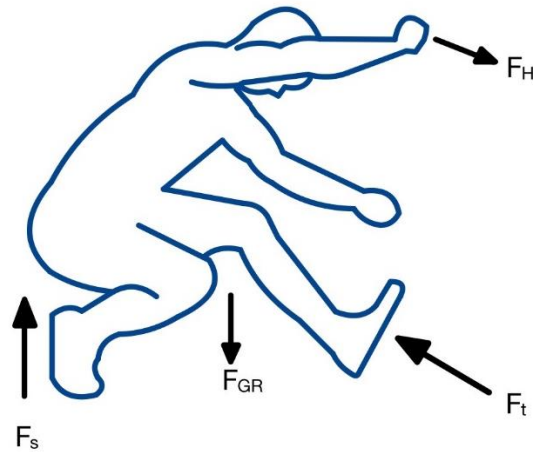
$$F_{Hx} - F_{Fx} = m_{Rx} \times a_{Rx} \quad (2-22)$$

เมื่อ F_{Hx} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณด้ามพายตามแนวแกน x

F_{Fx} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณเท้าตามแนวแกน x

m_{Rx} คือ มวลของนักพายเรือ

a_{Rx} คือ ความเร่งของนักพายเรือตามแนวแกน x



ภาพประกอบ 7 แรงกระทำต่อนักพายเรือ

สมการการเคลื่อนที่ในแนวราบ (แกน x) ของนักพายเรือคือ

$$F_{Fz} + F_{S_z} - F_{H_z} - F_{GR} = m_{Rz} \times a_{Rz} \quad (2-23)$$

เมื่อ F_{H_z} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณด้ามพายตามแนวแกน z

F_{S_z} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณที่นั่งตามแนวแกน z

F_{Fz} คือ แรงที่ออกโดยนักพายเรือบริเวณเท้าตามแนวแกน z

F_{GR} คือ แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อนักพายเรือ

m_{Rz} คือ มวลของนักพายเรือ

a_{Rz} คือ ความเร่งของนักพายเรือตามแนวแกน z

จากการพิจารณาการเคลื่อนที่ของแรงที่กระทำต่อนักพายเรือ Baudouin et al. (2002) พบว่าแรงที่เกิดขึ้นบริเวณด้ามจับพาย จะสัมพันธ์กับแรงบริเวณที่นั่งเท้าและความแรงของนักพายเรือ ซึ่งแรงอื่น ๆ จะมีผลต่อการขับเคลื่อนของเรือที่น้อยมาก โดยแรงเสียดทานระหว่างนักพายกับที่นั่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ที่นั่งเคลื่อนที่ตามนักพายในขณะที่เคลื่อนที่ และที่นั่งจะรับแรงในแนวตั้ง (แกน z) เท่านั้น และแรงต้านทานหรือแรงที่กระทำในแนวตั้ง (แกน z) จะมีผลต่อการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของเรือส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับ

สร้างแรงบริเวณที่ยันเท้าและถ่ายกำลังไปยังด้ามใบพาย โดยแรงที่นักพายสร้างให้กับใบพายจะขึ้นอยู่กับแรงของกล้ามเนื้อที่ถ่ายกำลังไปยังใบพาย ดังสมการ

$$F_{GR} = m_R \times g \quad (2-24)$$

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือมังกร

จากการศึกษางานวิจัยและทดลองเกี่ยวกับการพายเรือที่ผ่านมานั้น สามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของการพายเรือ

ในช่วงแรกของการศึกษาระบบการพายเรือนั้น ได้ศึกษาทางด้านกลศาสตร์การพายเรือ ทำให้ทราบถึงตัวแปรทางกลศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับนักพายเรือ โดยการศึกษา กลศาสตร์ของการพายเรือ สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การศึกษาด้านคิเนเมติกและด้านไดนามิกของการพายเรือ โดยข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ศึกษากับการพาย ของนักพายเรือ และนำมาปรับใช้เป็นตัวแปรสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาตัวแปรด้านคิเนเมติก เป็นการวัดและบันทึกขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือ รวมถึงการเคลื่อนที่ของเรือและนักพายเรือ โดยข้อมูลที่จะถูกนำไปใช้อธิบายรูปแบบการพายเรือ และใช้ในการศึกษาวิเคราะห์เทคนิคการพายในลักษณะต่าง ๆ โดยการศึกษาวิจัยด้านคิเนเมติกประกอบด้วยงานวิจัยดังต่อไปนี้

Bernfield (1977) ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราพายเรือของเส้นโค้งความเร็วกับเวลา โดยทำการพายด้วยความเร็วไม่คงที่เทียบกับการพายด้วยความเร็วคงที่ พบว่าหากพายเรือด้วยความเร็วคงที่ จะให้อัตราการพายของเส้นโค้งความเร็วกับเวลาที่ดีกว่า

Senator (1981) ได้ทำการศึกษาอัตราพายเรือ และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล โดยการใช้ที่นั่งแบบเลื่อน จากการศึกษาพบว่า อัตราการพายที่เหมาะสมคือ 45 ครั้งต่อนาที และพบว่าการใช้ใบพายที่มีขนาดใหญ่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการพายได้

WN and CJ (1983) ทำการศึกษามุมของการพาย ระหว่างนักพายเรือที่มีทักษะสูงกับนักพายเรือที่มีทักษะน้อย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาถึงแรงต้านทานของใบพาย จากการศึกษาพบว่ามุมของการพายที่ทำให้เรือมีความเร็วสูงขึ้นคือการให้ด้ามพายตั้งฉากกับเรือ

Hofmijster et al. (2007) ศึกษาอัตราการหายใจต่อการกระจายกำลังของใบพาย จากการศึกษพบว่า ที่อัตราการหายใจที่สูงขึ้น กำลังของนักพายเรือและกำลังขับเคื่อนมากขึ้น ในขณะที่ความเร็วลดลง การลดลงของความเร็วเรือเป็นผลมาจากการทำงานของใบพายลดลง

Ho et al. (2008) ทำการศึกษาและวิเคราะห์อัตราการหายใจ โดยทำการศึกษา นักพายเรือที่มีความสามารถต่างกัน เพื่อนำไปพัฒนาเทคนิคของนักพายเรือ จากการศึกษพบว่า เทคนิคที่เหนือชั้นและกำลังที่มากกว่าของนักพายเรือที่มีทักษะสูงจะมีประสิทธิภาพการหายใจที่สูงขึ้น โดยมีการใช้รูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อที่แตกต่างจากนักพายเรือที่มีทักษะน้อย ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเส้นโค้งความเร็วกับเวลา

Gomory et al. (2011) ทำการศึกษาคิเนเมติกของการพายเรือ โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการหายใจบนใบพาย วัดอัตราการเต้นของหัวใจ และวิเคราะห์ความเร็วตอนกลับตัวกลับ จากนั้นนำไปศึกษาการเคลื่อนไหวของนักพายเรือที่มีอายุ เพศ และเทคนิคในการพายเรือต่างกัน จากการศึกษพบว่านักพายเรือที่มีอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงที่ดีที่สุด (HRR 85-95%) เป็นนักพายเรือที่มีทักษะและฝึกฝนอยู่เป็นประจำ อัตราการหายใจที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 45-55 ครั้งต่อนาที และกำลังในการพายในนักกีฬาชายจะมีมากกว่านักกีฬาหญิง

Bello et al. (2018) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนไหวของข้อต่อของนักพายเรือ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของนักพายเรือว่าส่งผลกับรูปแบบการออกแรงอย่างไร เพื่อใช้ในการออกแบบเรือ จากการศึกษพบว่า การปรับเปลี่ยนมุมของข้อต่อของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง หลังกระดูกสันหลังส่วนคอ ตามการเคลื่อนไหวของการพายจะแปรผันตามความสูงของที่วางเท้า

การศึกษาทางด้านไดนามิกของการพายเรือมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดแรงกระทำกับระบบของการพายเรือ ทั้งแรงที่มากกระทำภายนอกและแรงที่มากกระทำภายใน โดยการศึกษาวิจัยทางด้านไดนามิกของการพายเรือประกอบด้วยงานวิจัยดังต่อไปนี้

Hoerner (1965) ทำการศึกษาแรงจุดที่มากกระทำต่อเรือ โดยทำการศึกษาแรงจุดของเรือประเภทต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษาทางทฤษฎี และใช้ในการออกแบบเรือและใบพาย จากการศึกษพบว่า แรงจุดในอากาศเป็นกำลังสองส่วนสามของน้ำหนักเฉลี่ยของนักพายเรือ

Hartmann et al. (1993) ได้ทำการศึกษาความแข็งแรงของนักพายเรือ และความสามารถในการออกแรงพายของนักพายเรือ เพื่อหาแรงสูงสุดในการพาย จากการศึกษพบว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในจังหวะสุดท้ายจะลดลงจากจังหวะแรก และกำลังสูงสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 25 วินาทีสุดท้ายของการพาย

Baudouin et al. (2002) ทำการศึกษาแรงที่กระทำต่อใบพายและนักพายเรือ จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนที่ของเรือมีค่าแปรผันกับระยะเชิงมุมของใบพาย ขนาดของแรงที่กระทำต่อใบพายจะแปรผันตามตำแหน่งของใบพาย รูปทรงใบพาย และน้ำที่ไหลผ่านใบพายส่วนแรกที่กระทำต่อนักพายเรือ พบว่าแรงที่เกิดขึ้นบริเวณด้ามจับไม้พายจะขึ้นอยู่กับความเร่งของนักพายเรือ

Greidanus et al. (2012) ได้ทำการศึกษาแรงจุดในน้ำที่มากกระทำต่อระบบการพายเรือ เพื่อใช้ในการออกแบบเรือ พบว่าแรงต้านทานที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือเกิดจาก Skin Drag (แรงต้านทานตามพื้นผิววัตถุ) ส่วน Profile Drag และ Wave Drag มีผลต่อการเคลื่อนที่ของระบบการพายเรือประมาณ 10 - 20% เท่านั้น ที่สภาพการไหลทั่วไปสำหรับการพายเรือ

Greidanus et al. (2016) ได้ทำการศึกษาแรงเสียดทานระหว่างน้ำกับผิวของเรือ จากการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะแปรผันในหนึ่งรอบ ความเร็วของเรือที่ไม่คงที่ จะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานของผิวเรือเพิ่มขึ้น และจะทำให้ประสิทธิภาพของการพายเรือลดลง

Atkinson and C (2019) ทำการศึกษามุมของใบพายที่กระทำกับน้ำ จากการศึกษาพบว่ามุมปะทะของใบพายที่กระทำกับน้ำที่ทำให้เรือมีประสิทธิภาพสูงสุด คือมุมที่น้ำปะทะใบพายประมาณ 42.5 องศา

Dudhia (2023) ทำการศึกษาแรงต้านที่มากกระทำต่อระบบการพายเรือ จากการศึกษาพบว่าแรงต้านทานส่วนใหญ่เกิดจาก Skin Drag (แรงต้านทานของน้ำที่กระทำต่อผิวเรือ) ส่วนแรงต้านอากาศนั้นถือว่ามียุทธพลน้อยมากต่อการเคลื่อนที่ของเรือ

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพายเรือที่ผ่านมา นั้น ล้วนจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพง อีกทั้งยังมีความยุ่งยากในการใช้งาน และข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการพายเรือ เพื่อใช้ทำนายผลลัพธ์ของการพายเรือ ซึ่งเมื่อต่อมาคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จึงมีการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบด้วยกรรมวิธีเชิงตัวเลขในการทำนายผลลัพธ์ของการพายเรือ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันนั้นจะลักษณะในการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกัน คือการสร้างสมการขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายผลลัพธ์ของการพายเรือ ซึ่งสมการที่ใช้เป็นหลัก คือสมการการเคลื่อนที่ โดยสิ่งที่แตกต่างกันของงานวิจัยส่วนใหญ่ คือการพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลนักพายเรือ งานวิจัยบางส่วนจะไม่พิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลหรือพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลจากพิกัดของร่างกายของนักพายเรือ และมีงานวิจัยบางส่วนที่

พิจารณาการเคลื่อนที่ของนักพายเรือให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของด้ามพาย ทำให้ลักษณะของแบบจำลองมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือประกอบด้วยงานวิจัยดังต่อไปนี้

Mola et al. (2006) ทำการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองไดนามิกของเรือพายโอลิมปิก โดยแบบจำลองนี้ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการกำหนดค่าเรือกรรเชียงและนักพายเรือ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของตัวเรือในระนาบสมมาตร ซึ่งเป็นการจำลองโดยให้เรืออยู่กับที่และให้ของไหลไหลผ่านตัวเรือ จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้สามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุดเด่นของงานวิจัยนี้มีการนำอัลกอริทึมไปใช้ในโปรแกรม C++ ซึ่งมีการพิจารณาตำแหน่งของนักพายเรือ ที่วางเท้า จังหวะของไม้พาย ความหนาแน่นของน้ำ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังต้องมีการปรับปรุงในหลายด้านเช่น การประมาณค่าของแรงพาย แรงไดนามิกของของไหลและแรงเฉื่อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของนักพายเรือ

Formaggia et al. (2009) ทำการพัฒนาแบบจำลองของเรือกรรเชียงโดยการคำนวณด้านไดนามิกของการพายเรือ เพื่อใช้ในการออกแบบเรือ และทำนายประสิทธิภาพของการพายเรือ โดยศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของนักพายเรือและแรงจุดในน้ำที่กระทำกับเรือ รวมไปถึงแรงต้านทานที่เกิดจากคลื่น จากการศึกษพบว่าการกระจายตัวของคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับการเพิ่มมวล ข้อดีของงานวิจัยนี้ได้ทำการคิดแรงต้านทานที่เกิดจากคลื่น รวมไปถึงแรงต้านทานในน้ำที่กระทำต่อเรือ อย่างไรก็ตามพบว่ามีค่าไม่สมจริงของแบบจำลอง เนื่องจากการศึกษานี้กำหนดขอบเขตแรงของนักพายให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งอาจจะทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

Sliasis and Tullis (2010) ทำการจำลองผลกระทบของแรงต้านทานและแรงยกกับมุมมองของใบพาย เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการพาย โดยใช้แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ควบคู่กับแบบจำลอง CFD ในการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นบริเวณใบพาย จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับมุมใบพายให้ลาดเอียง -3 องศา มีประสิทธิภาพสูงกว่าใบพายมาตรฐานซึ่งลาดเอียง -6 องศา จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการใช้แบบจำลองถึง 2 รูปแบบในการศึกษา อย่างไรก็ตามพบว่างานวิจัยนี้คือ มีความไม่สมจริงของแบบจำลอง เนื่องจากในงานวิจัยเป็นการจำลองโดยให้น้ำไหลผ่านแบบจำลองที่อยู่กับที่

Sawade et al. (2012) ทำการศึกษาและจำลองการเคลื่อนไหวของนักพายเรือ โดยใช้เครื่อง Ergometers ในการทดสอบ จากการศึกษาพบว่าการใช้เครื่อง Ergometers ในการ

ทดสอบทำให้นักพายเรือลดการบาดเจ็บได้ และยังช่วยพัฒนาความแข็งแรงของนักพายเรือได้อีกด้วย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาจำลองการเคลื่อนไหวของนักพาย ใช้โปรแกรม SolidWorks ในการเชื่อมโยงกับโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อสร้างการจำลองการพายเรือ โดยใช้อัลกอริทึม PID ในการรักษาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของตัว เพื่อจำลองความสมดุลขณะที่กำลังพาย จากงานวิจัยพบว่าต้องใช้ใช้แกนกลางในการทรงตัวของเรือกรรเชียง หากไม่มีการใช้การทรงตัวอาจจะทำให้เรือพลิกคว่ำได้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการใช้ Ergometers ในการจำลองเป็นผลดีต่อตัวนักกีฬามากกว่าการพายจริง และอัลกอริทึม PID สามารถควบคุมวิธีในการใช้แรงได้ โดยสามารถควบคุมข้อผิดพลาดของตำแหน่งแอกคูเอเตอร์

พรเทพ ราชนาวิ (2550) ทำการจำลองรูปแบบการพายเรือกรรเชียงประเภทสองคน ทำการศึกษามุมการพายทั้งเหมือนกันและต่างกัน เพื่อศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับมุมของการพาย โดยการนำข้อมูลการพายของนักกีฬา 3 คน และมุมการพายต่างๆมาใช้ในการศึกษา และใช้โปรแกรม MATLAB จากการทดลองพบว่ามุมการพายเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการพายเรือกรรเชียง การเปลี่ยนแปลงมุมพายจะส่งผลกระทบต่อความเร็วเรือ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการใช้ชุดข้อมูลและรูปแบบการพายของนักพายเรือที่หลากหลายมาใช้ในการเปรียบเทียบ

Pettersson et al. (2013) ทำการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของเรือพายใน 1 มิติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการพายเรือโดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง นักพายเรือ เรือพาย ไบพาย และน้ำ ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics จากการจำลองพบว่า เมื่อแรงลดลง การเคลื่อนไหวทั้งหมดจะมีส่วนโดยตรงกับการวัดความคลาดเคลื่อน ซึ่งนำไปสู่การเคลื่อนไหวที่ควบคุมได้ง่ายโดยที่แรงอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับค่าสูงสุด แรงต้านทานของไบพายและตัวเรือส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย

Robert et al. (2014) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือโดยทำการศึกษาพลศาสตร์ของไหลบริเวณรอบไบพายด้วยโปรแกรม ISIS-CFD จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับพายจริงด้วยการติดตั้งเซ็นเซอร์บริเวณไบพายและด้ามพาย จากผลการวิเคราะห์พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพายจริงยังคงมีค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากบางพารามิเตอร์ไม่สามารถวัดได้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการนำข้อมูลที่ได้จากการพายจริงมาเปรียบเทียบ

Karmanov and Chernousko (2015) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือ โดยทำการศึกษาอัตราพายใน 1 รอบการพาย จากการศึกษพบว่าแบบจำลอง

ของลักษณะการพายเรือที่วิเคราะห์จากลักษณะการเคลื่อนที่ของร่างกายโดยเปลี่ยนแปลงเป็นระยะทางต่อวินาทีที่จะได้การเคลื่อนที่แบบวงกลม ซึ่งความเร็วเป็นฟังก์ชันของคาบเวลา

Min Guk et al. (2017) ทำการจำลองการเคลื่อนตัวของเรือของเหลว ที่ถูกบรรจุในเรือบรรทุกสินค้าและศึกษาอัตราส่วนการบรรจุของเหลวที่ส่งผลกระทบต่อแรงต้านทานในการเคลื่อนที่ของเรือผ่านคลื่นโดยใช้แบบจำลองเป็นตัวเรือ Wigley และใช้วิธี Rankine แบบเวลาในการตรวจสอบหาผลลัพธ์ กำหนดให้อัตราส่วนการบรรจุของเหลวที่ต่างกัน ในแต่ละการจำลองคือ 30% 50% และ 70% จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนการบรรจุของเหลวที่ 30% ให้ค่าแรงต้านทานในการเคลื่อนที่ของเรือที่น้อยกว่าอัตราส่วนการบรรจุของเหลวที่ 50% และ 70% และการเคลื่อนที่ของของเหลวที่บรรจุส่งผลกระทบต่อแรงต้านทานในการเคลื่อนที่ของเรือ

Wychowski et al. (2018) ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือกรรเชียงเดี่ยวแบบ 1 มิติ โดยศึกษาแรงที่กระทำต่อเรือ แรงที่กระทำต่อใบพาย และแรงที่กระทำกับนักพายเรือ ด้วยโปรแกรม MATLAB จากการศึกษาพบว่าแรงต้านทานอากาศและแรงต้านทานน้ำมีผลการเคลื่อนที่ของเรือ และมุมมองของใบพายที่เหมาะสมคือมุม 90 องศา จุดเด่นของงานวิจัยคือมีการศึกษาแรงที่กระทำถึง 3 แรงอย่างไรก็ตามพบว่างานวิจัยนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง เนื่องจากมีการสร้างแบบจำลองเพียง 1 มิติ

Elkafas et al. (2019) ทำการสร้างแบบจำลองเรือคอนเทนเนอร์เพื่อหาแรงต้านทานของของไหลทำกับเรือคอนเทนเนอร์โดยกำหนดให้เรือคงที่และให้ของไหลไหลผ่านเรือที่ความเร็วต่างกันจากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS-CFX จากการศึกษาพบว่าแรงต้านทานด้านผิววัตถุ (Skin Drag) มีสัดส่วนถึง 90% ของแรงต้านทานทั้งหมดและเมื่อของไหลมีความเร็วสูงขึ้นส่งผลให้ค่าแรงต้านทานมากขึ้น จุดเด่นของงานวิจัย มีการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดและมีการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ด้วยวิธีการคำนวณของ Holtop อย่างไรก็ตามพบว่ามีค่าความไม่สมจริงของแบบจำลอง เนื่องจากเป็นการทดลองโดยให้ของไหลไหลผ่านตัวเรือ

Giraldo-Pérez et al. (2022) ทำการสร้างแบบจำลองการพายเรือของเรือ 3 ชนิด ได้แก่ Monohull, Catamaran และ Mysucat โดยกำหนดให้มีน้ำหนักและขนาดใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันที่รูปทรงของตัวเรือเพื่อศึกษาแรงต้านทานที่กระทำกับเรือทั้ง 3 รูปแบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANOVA โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบแรงต้านทานจากการศึกษาพบว่าตัวเรือ Catamaran กับ Mysucat มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมากจึงทำให้มีค่าแรงต้านทานสูง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเร็วและเวลาในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร 10 ฝีพาย ในระยะทาง 200 เมตร ตลอดจนพฤติกรรมของของไหลที่มากระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้เรือมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด หรือใช้เวลาในการแข่งขันน้อยที่สุด ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นมาภายใต้สมมุติฐานของการพายเรือจริง จากนั้นวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Ansys Workbench ซึ่งในที่สุดก็ทำให้ทราบค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเรือพาย หลังจากนั้นทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง เพื่อดันหารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด โดยสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

1. อุปกรณ์และเครื่องมือวัด
2. การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเชิงปฏิบัติ
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการพายเรือมังกร
4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
5. การดันหารูปแบบตำแหน่งนักพายเรือ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.1.1 เรือพายมังกร

เรือพายที่ใช้ในการวิจัยเป็นเรือมังกร 10 ฝีพาย ประกอบด้วย นักพายเรือ 10 คน คนตีกลอง 1 คน และคนคัดท้าย 1 คน



ภาพประกอบ 8 เรือพายมังกร

ที่มา: “เรือยาวมังกร” กีฬาระดับตำนานของจีน ในเอเชียเกมส์ 2018 (PPTV, 2561)

3.1.2 เครื่องพายเรือ (Rowing Ergometer)

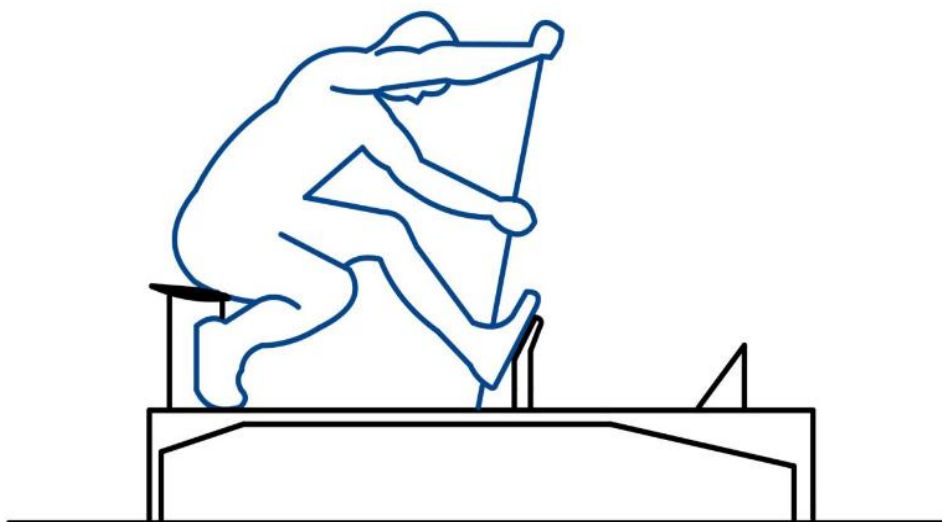
เครื่องพายเรือ (Rowing Ergometer) เป็นเครื่องพายเรือในร่มที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการทดสอบสมรรถนะของการพายเรือ ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ โดยใช้บันทึกอัตราการพาย กำลังในการพาย แรงที่ใช้ในการพายต่อระยะทางที่กำหนด รูปแบบของแรงที่ใช้ในการพาย อัตราการเต้นของหัวใจ เป็นต้น เครื่องพายเรือมั่งคั่งสามารถให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการพายเรือจริง โดยมีค่าผิดพลาดประมาณ 3-5% ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ (Marcolin et al., 2015)



ภาพประกอบ 9 เครื่องพายเรือ Ergometer

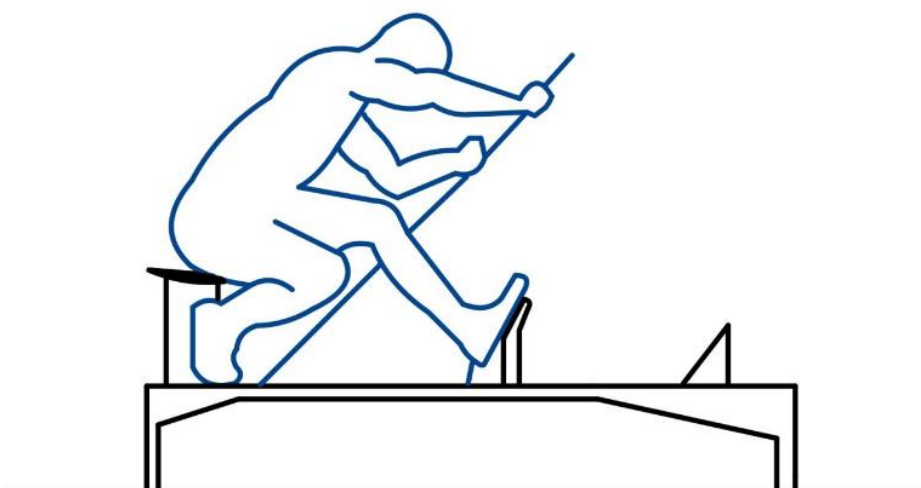
วิธีการใช้งานเครื่องพายเรือ

1. เริ่มต้นการใช้งาน โดยเริ่มต้นจากการวางขาบนที่รองเท้าไปทางด้านที่จะต้องพายและขาอีกข้างจะค้ำไว้บริเวณที่นั่ง จากนั้นส่วนของแขนที่ใช้ในการพายให้ใช้แขนที่จับตรงกลางของไม้พายเป็นข้างเดียวกับขาที่วางบนที่รองเท้า ส่วนแขนอีกข้างจะจับบริเวณด้ามไม้พายโดยยื่นแขนไปด้านหน้า และเอนลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย ดังแสดงในภาพประกอบ 10



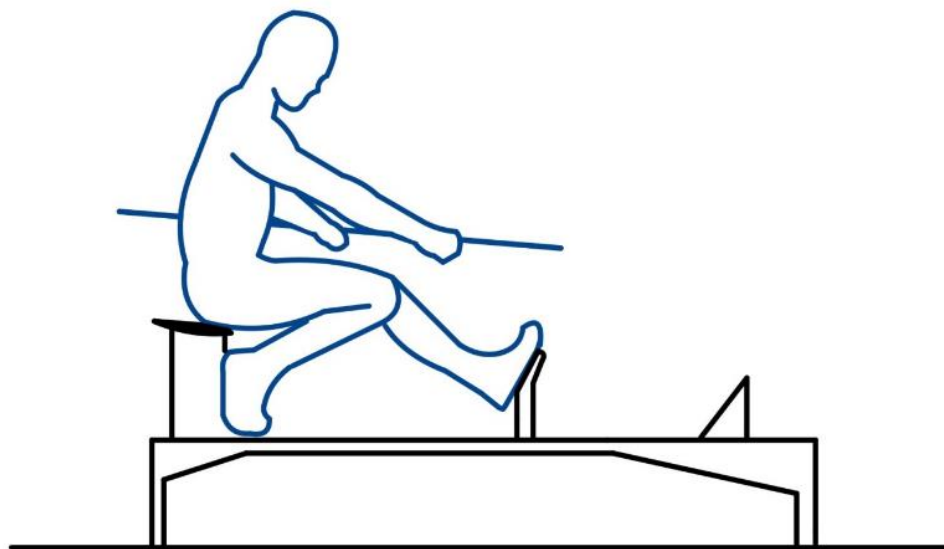
ภาพประกอบ 10 เริ่มต้นการใช้งานเครื่องพายเรือ

2. การทดสอบเครื่องพายเรือในจังหวะแรกทำการเกร็งขาข้างที่วางอยู่บนที่รองเท้าและขาอีกข้างค้ำไว้ตรงบริเวณที่นั่ง จากนั้นออกแรงดึงไม้พายเข้าหาลำตัว ดังแสดงในภาพประกอบ 11



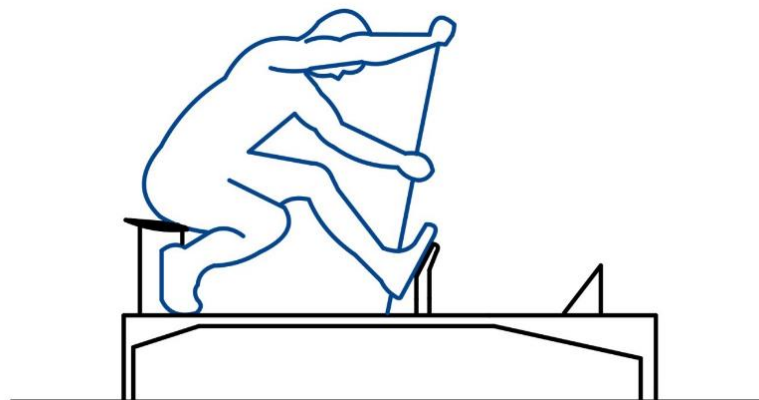
ภาพประกอบ 11 การทดสอบเครื่องพายเรือในจังหวะแรก

3. การทดสอบเครื่องพายเรือในจังหวะที่สอง ทำการดึงไม้พายเข้าหาลำตัวจนแขนที่จับตรงกลางของไม้พายแนบชิดติดกับลำตัว และเอนตัวไปด้านหลังเล็กน้อยให้ลำตัวตั้งฉากกับที่นั่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 การทดสอบเครื่องพายเรือในจังหวะที่สอง

4. สิ้นสุดการทดสอบเครื่องพายเรือ ทำการจัดรูปแบบแขนเหมือนในท่าเริ่มต้น จากนั้นเอนลำตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย เป็นอันเสร็จสิ้นการทดสอบในหนึ่งรอบ ดังแสดงในภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 สิ้นสุดการทดสอบเครื่องพายเรือ

3.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น Mi Fit ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักตัวของนักกีฬา



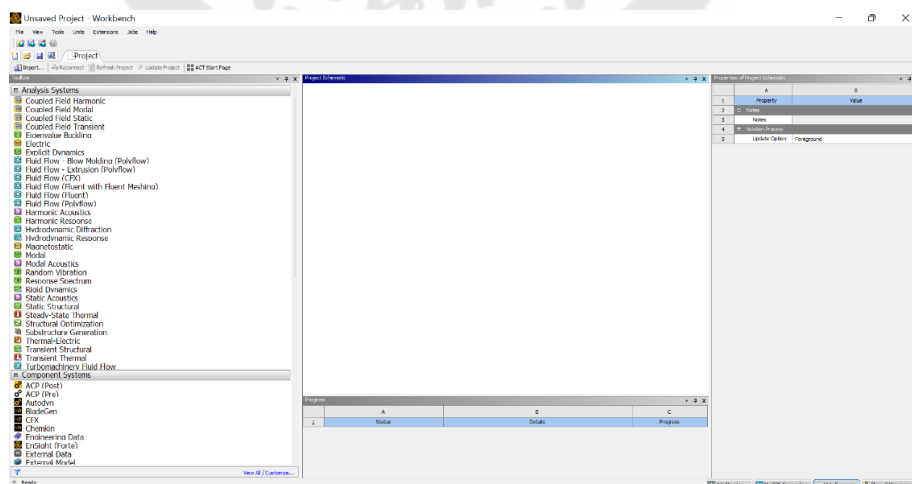
ภาพประกอบ 14 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ที่มา: Banana IT

3.1.4 โปรแกรม Ansys Workbench

โปรแกรม Ansys Workbench ใช้ในการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองการพายเรือ เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษแบบจำลองเป็น 2 ส่วน คือ

1. การศึกษาการกระจายตัวของน้ำหนักนักพายเรือ
2. การศึกษาความเร็ว เวลา แรงต้านทานและแรงยก



ภาพประกอบ 15 โปรแกรม Ansys Workbench

3.2 การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเชิงปฏิบัติ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร โดยในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการพายเรือจริง ทั้งรูปแบบในการพายเรือ ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรเชิงปฏิบัติ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 รูปแบบการพายเรือมังกร

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งท่าการพายโดยหันหลังเข้าด้านของน้ำ เขยียดแขน 2 ข้างไปข้างหน้า โดยใช้แขนข้างที่ถนัดจับบริเวณตรงกลางของไม้พายในลักษณะเหยียดตรง และแขนอีกข้างจับบริเวณด้ามของใบพาย และวางไม้พายไว้ที่ต้นขาของฝีพายคนข้างหน้า โดยให้ลำตัวเอนไปด้านนอกของเรือเล็กน้อย และให้ไหล่อยู่เหนือน้ำ



ภาพประกอบ 16 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 1

ที่มา: Beginning Paddle Techniques & Tips (Boat, 2023)

ขั้นตอนที่ 2 นำใบพายลงใต้น้ำจนสุดโดยให้ใบพายทำมุมกับระดับของน้ำประมาณ 60 องศา จากนั้นให้ดึงใบพายด้วยแขนข้างที่จับบริเวณกลางไม้พายและออกแรงพายจากแขนข้างที่จับด้ามไม้พายโดยใช้กล้ามเนื้อช่วงไหล่และหลังในการออกแรง และให้ลำตัวและหลังเอนลงไปด้วยเล็กน้อย



ภาพประกอบ 17 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 2

ที่มา: Beginning Paddle Techniques & Tips (Boat, 2023)

ขั้นตอนที่ 3 ให้นักพายใช้กล้ามเนื้อช่วงหลังในการออกแรงดึงใบพายให้ไม้พายอยู่ในลักษณะขนานกับเรือ โดยเมื่อจบขั้นตอนนี้ แขนข้างที่จับด้ามไม้พายจะเลื่อนลงมาขนานกับตัวเรือ



ภาพประกอบ 18 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 3

ที่มา: Beginning Paddle Techniques & Tips (Boat, 2023)

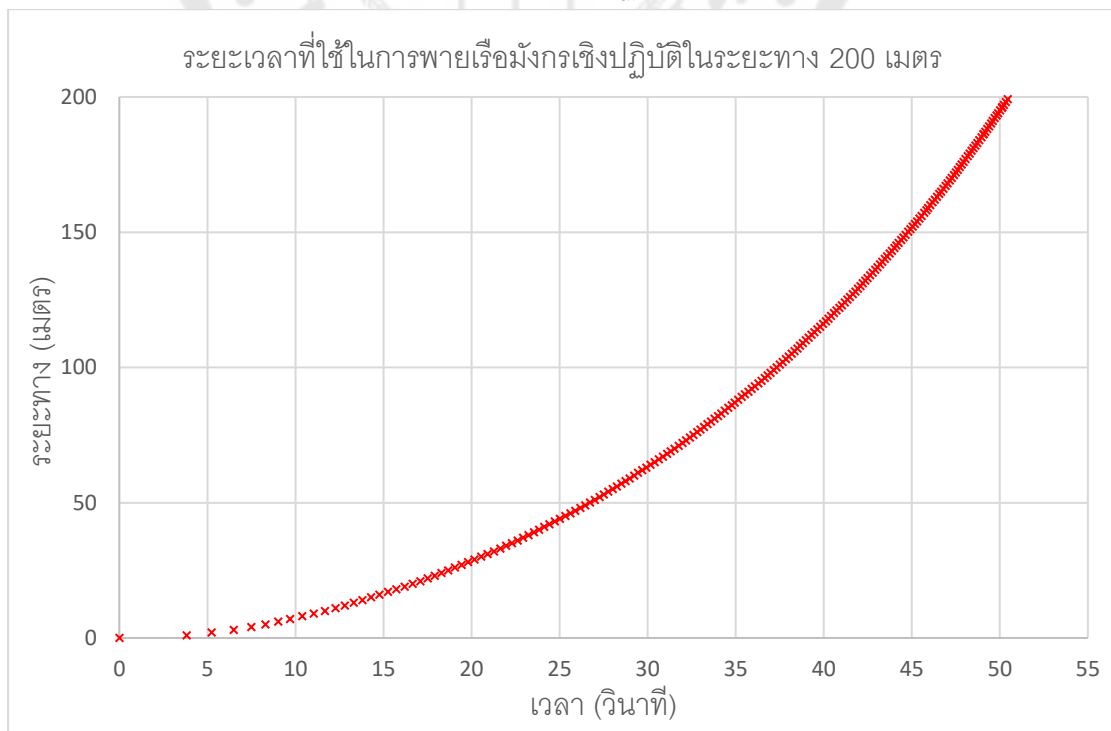
ขั้นตอนที่ 4 เมื่อไม้พายยกขึ้นจากน้ำออกมาในระดับที่เอวของนักพายแล้ว จะเริ่มกลับไปตั้งท่าตามในขั้นตอนที่ 1



ภาพประกอบ 19 รูปแบบการพายเรือ ขั้นตอนที่ 4

ที่มา: Beginning Paddle Techniques & Tips (Boat, 2023)

3.2.2 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรเชิงปฏิบัติ



ภาพประกอบ 20 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรเชิงปฏิบัติ

จากภาพประกอบ 20 จะแสดงให้เห็นถึงเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรเชิงปฏิบัติใน ระยะทาง 200 เมตร โดยใช้เวลาในการพายอยู่ที่ 50.54 วินาที ซึ่งจากกราฟจะพบว่ารูปแบบกราฟ มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นโค้งเนื่องจากกราฟของเวลาที่ใช้ในการพายนั้นสัมพันธ์กับความเร็ว ของเรือพายที่ใช้ในการเคลื่อนที่โดยในช่วงแรกเรือมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่น้อยจึงทำให้กราฟ นั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก และเมื่อเวลาผ่านไปความเร็วของเรือจะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำ ให้กราฟนั้นเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงระยะทาง 200 เมตร

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือมังกร

การศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาความเร็วและเวลาใน การพาย แรงต้านทานและแรงยกที่มากระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย ในงานวิจัยนี้ใช้สมการ การเคลื่อนที่ด้วยวิธีการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics; CFD) ภายใต้สภาวะไม่คงตัว (Unsteady State) แบบ 2 มิติ สมการควบคุม (Governing equation) อยู่ บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence Flow) โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence Model) แบบ $k-\omega$ -SST ด้วยสมมติฐาน Couple ในการอธิบายบนระเบียบวิธีไฟไนต์ วอลุ่ม (Finite Volume Method) ประกอบด้วยสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) และ สมการโมเมนตัม (Momentum equation) ดังนี้

3.3.1 สมการการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของเรือถูกกำหนดด้วยกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ประกอบด้วย มวล ความเร่ง แรงขับเคลื่อนและแรงต้านทานเรือ (Holst, 2004)

$$F_R + F_D = \ddot{a}(m_B + m_R) \quad (3-1)$$

เมื่อ F_R คือ แรงขับเคลื่อนเนื่องจากนักพายเรือ

F_D คือ แรงต้านทานเรือ

\ddot{a} คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล

m_B คือ มวลของเรือ

m_R คือ มวลของนักพายเรือ

3.3.2 แรงต้านทานที่กระทำต่อตัวเรือ

การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกอร์จะเคลื่อนที่ช้าลงเนื่องจากแรงต้านทานที่เรียกว่า แรงจุด (Drag Force) ในการพายเรือแรงต้านทาน ประกอบไปด้วย แรงต้านทานอากาศ (Aerodynamic Drag) และแรงต้านทานน้ำ (Hydrodynamic Drag) โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$F_D = F_{AD} + F_{HD} \quad (3-2)$$

เมื่อ F_D คือ แรงต้านทานทั้งหมด

F_{AD} คือ แรงต้านทานอากาศ

F_{HD} คือ แรงต้านทานน้ำ

3.3.2.1 แรงต้านทานอากาศ

ในกีฬาเรือมังกอร์นั้นแรงต้านทานอากาศ จะเกิดขึ้นบริเวณวัตถุที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ได้แก่ นักพายเรือ ไม้พาย และเรือบริเวณที่อยู่เหนือน้ำ โดยการคำนวณหาแรงจุดในอากาศที่กระทำต่อการพายเรือมังกอร์ สามารถหาได้ดังสมการ

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

เมื่อ F_{AD} คือ แรงต้านทานอากาศ

ρ_A คือ ความหนาแน่นของอากาศ

C_A คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่สัมผัสกับอากาศ

V_A^2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมผัสกับอากาศ

3.3.2.2 แรงต้านทานน้ำ

แรงต้านทานน้ำเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกอร์ที่สำคัญที่สุด หรือประมาณร้อยละ 90 ของแรงต้านทั้งหมด แรงต้านทานน้ำประกอบไปด้วย แรงต้านทานตามพื้นที่ผิวของวัตถุ (Skin Drag) แรงต้านทานเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันพื้นผิว (Pressure

Drag) และแรงต้านทานของคลื่น (Wave Drag) (Formaggia et al., 2009) สามารถหาได้ดังสมการ

$$F_{HD} = F_{HDs} + F_{HDp} + F_{HDw} \quad (3-4)$$

โดยที่ F_{HDs} สามารถหาได้จากสมการ

$$F_{HDs} = \frac{\rho_w}{2} C_s A V_w^2 \quad (3-5)$$

เมื่อ F_{HDs} คือ แรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ
 ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ
 C_s คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานตามพื้นผิวของวัตถุ
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่สัมผัสน้ำ
 V_w^2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมพันธ์กับน้ำ

โดยที่ F_{HDp} สามารถหาได้จาก

$$F_{HDp} = \frac{\rho_w}{2} C_p A V_w^2 \quad (3-6)$$

เมื่อ F_{HDp} คือ ต้านทานเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันพื้นผิว
 ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ
 C_p คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านทานตามความแตกต่างของแรงดันพื้นผิว
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่สัมผัสน้ำ
 V_w^2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมพันธ์กับน้ำ

โดยที่ F_{HDw} สามารถหาได้จาก

$$F_{HDw} = \frac{1}{4} \rho_w g a^2 w \quad (3-7)$$

เมื่อ	F_{HDw}	คือ แรงต้านทานเนื่องจากคลื่น
	ρ_w	คือ ความหนาแน่นของน้ำ
	g	คือ แรงโน้มถ่วง
	a	คือ แอมพลิจูดของคลื่น
	w	คือ ความกว้างของคลื่น

3.3.3 แรงยก

แรงยก (Lift Force) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากกับแรงต้านและการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$F_L = \frac{\rho}{2} C_L A V^2 \quad (3-8)$$

เมื่อ	F_L	คือ แรงยก (Lift Force)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล
	C_L	คือ สัมประสิทธิ์ของแรงยก
	A	คือ พื้นที่ของวัตถุที่สัมผัสน้ำ
	V^2	คือ ความเร็วเฉลี่ยของเรือสัมพันธ์กับของไหล

3.3.4 งานของระบบ

กำลังงานในการเคลื่อนที่ของเรือหาได้จาก

$$P_B = C V_B^3 \quad (3-9)$$

งานในการเคลื่อนที่ของเรือหาได้จาก

$$W_B = \int_0^T P_B dt \quad (3-10)$$

เมื่อ	T	คือ เวลาในการพายเรือหนึ่งช่วง
	P_B	คือ กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ

W_B คือ งานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือ

งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของนักพายเรือกำหนดให้เป็น

$$W_R = 0.5 \frac{m_B m_R}{m_B + m_R} V_{\max}^2 \quad (3-11)$$

3.3.5 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic; CFD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ และแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหล โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อหาคำตอบของสมการอนุพันธ์ย่อยที่มีความซับซ้อน

3.3.5.1 ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์

การเคลื่อนที่ของเรือพายที่กระทำกับของไหลใช้ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพของของไหลประกอบไปด้วยสมการความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \nabla(\rho \bar{u}) = 0 \quad (3-12)$$

สมการโมเมนตัม

สำหรับแกน x

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3-13)$$

สำหรับแกน y

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3-14)$$

- เมื่อ u คือ ความเร็วในแนว x
 v คือ ความเร็วในแนว y
 P คือ ความดัน
 ρ คือ ความหนาแน่น
 μ คือ ความหนืดจลน์
 g คือ แรงโน้มถ่วง

สมการแรงต่อหนึ่งการพาย

$$F(t) = A \sin(\omega t + \varphi) + C \quad (3-15)$$

- เมื่อ A คือ แอมพลิจูดของคลื่น (แรงของนักพายเรือหารสอง)
 ω คือ รอบการพายต่อวินาที
 t คือ เวลา
 φ คือ ค่าคงที่เท่ากับ 1.578
 C คือ ปรับกราฟ Sine ให้เป็นบวกโดยจะมีค่าเท่ากับแอมพลิจูดของ

คลื่น

3.3.5.2 แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\omega$ SST

แบบจำลอง $k-\omega$ SST สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) เขียนได้ดังนี้ (Menter, 1994)

สำหรับแกน X

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho k u) = \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x} \right) - \rho \overline{uv} \frac{\partial u}{\partial x} - \rho \beta^* k \omega \quad (3-16)$$

สำหรับแกน y

$$\frac{\partial}{\partial y}(\rho k v) = \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial y} \right) - \rho \overline{vw} \frac{\partial v}{\partial y} - \rho \beta^* k \omega \quad (3-17)$$

สมการอัตราลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนจำเพาะ ω เขียนได้ดังนี้

สำหรับแกน X

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho\omega u) = \frac{\partial}{\partial x}\left((\mu + \sigma_\omega\mu_t)\frac{\partial\omega}{\partial x}\right) - \frac{\alpha}{v_t}\rho uv\frac{\partial v}{\partial x} - \rho\beta k\omega^2 + 2(1-F_1)\rho\sigma_{\omega,2}\frac{1}{\omega}\frac{\partial k}{\partial y}\frac{\partial\omega}{\partial y}$$

(3-18)

สำหรับแกน y

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho\omega v) = \frac{\partial}{\partial y}\left((\mu + \sigma_\omega\mu_t)\frac{\partial\omega}{\partial y}\right) - \frac{\alpha}{v_t}\rho vw\frac{\partial w}{\partial y} - \rho\beta k\omega^2 + 2(1-F_1)\rho\sigma_{\omega,2}\frac{1}{\omega}\frac{\partial k}{\partial z}\frac{\partial\omega}{\partial z}$$

(3-19)

โดยที่ค่า Eddy Viscosity แสดงดังนี้

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \frac{1}{\max\left[\frac{1}{\alpha^*}, \frac{\Omega F_2}{a_1\omega}\right]}$$

(3-20)

โดยที่

$$\Omega = \sqrt{\Omega_{ij}\Omega_{ij}}$$

(3-21)

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$$

(3-22)

$$F_2 = \tanh(\Phi_2^2)$$

(3-23)

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

(3-24)

ค่าคงที่ในสมการได้แก่ $\beta^*, \sigma_k, \sigma_\omega$ หาได้จาก สมการที่(3-25) โดยค่า θ เป็นค่าคงที่ใด ๆ ที่ใช้ในสมการ, θ_1 เป็นค่าคงที่ที่มาจากแบบจำลองชนิด $k-\omega$, θ_2 เป็นค่าคงที่ที่มาจากแบบจำลองชนิด $k-\varepsilon$

$$\theta = F_1(\theta_1) + (1 - F_1)(\theta_2) \quad (3-25)$$

โดยที่

$$F_1 = \tanh(\Phi_1^4) \quad (3-26)$$

$$\Phi_1 = \min \left[\max \left(\frac{k}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right), \left(\frac{4\rho k}{\sigma_{\omega,2} D_\omega^+ y^2} \right) \right] \quad (3-27)$$

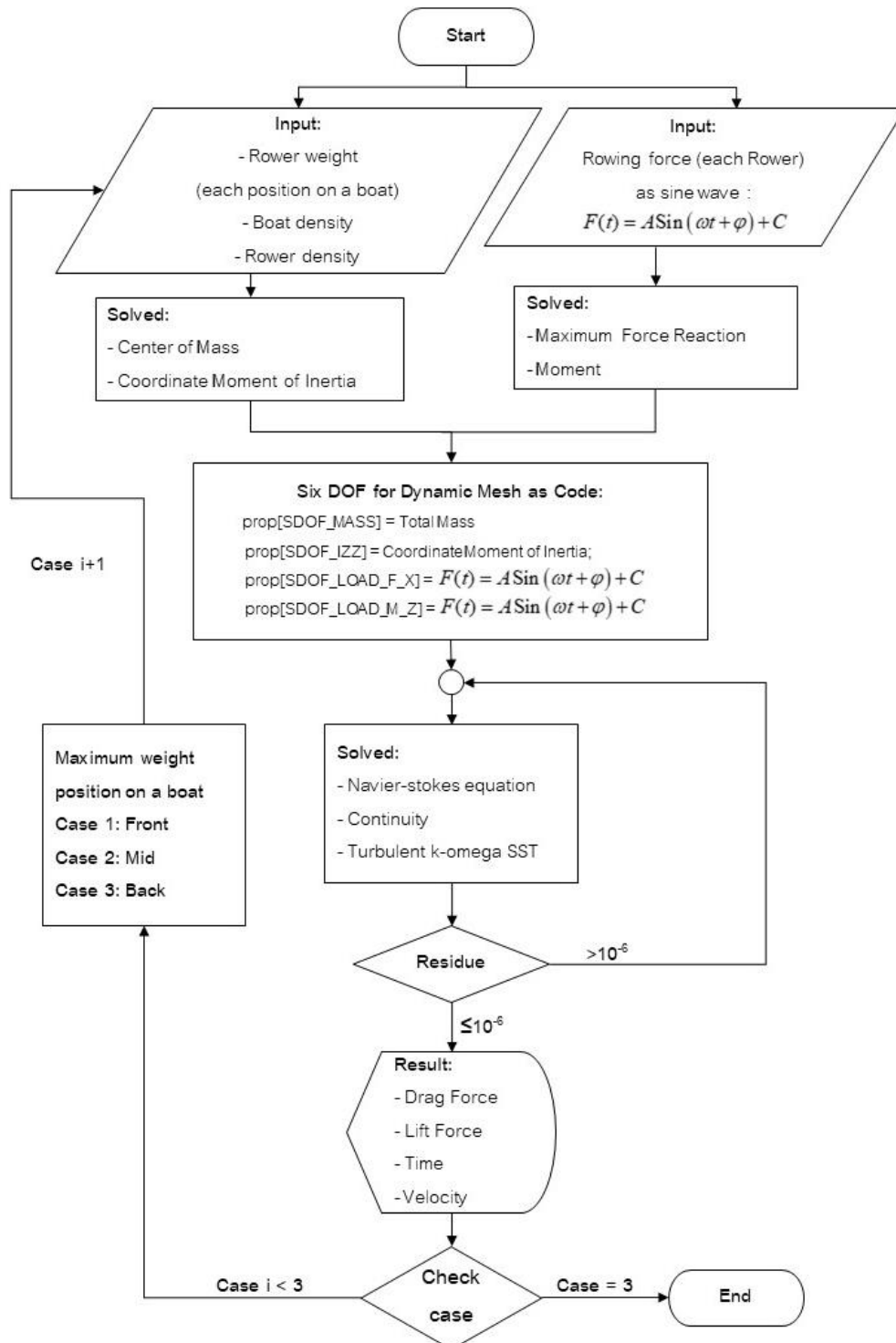
$$D_\omega^+ = \max \left[2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega,2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right] \quad (3-28)$$

สำหรับค่าคงที่อื่นๆในสมการมีดังนี้

$$\beta_1 = 0.075, \beta_2 = 0.0828, a_1 = 0.31, \alpha^* = 1$$

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

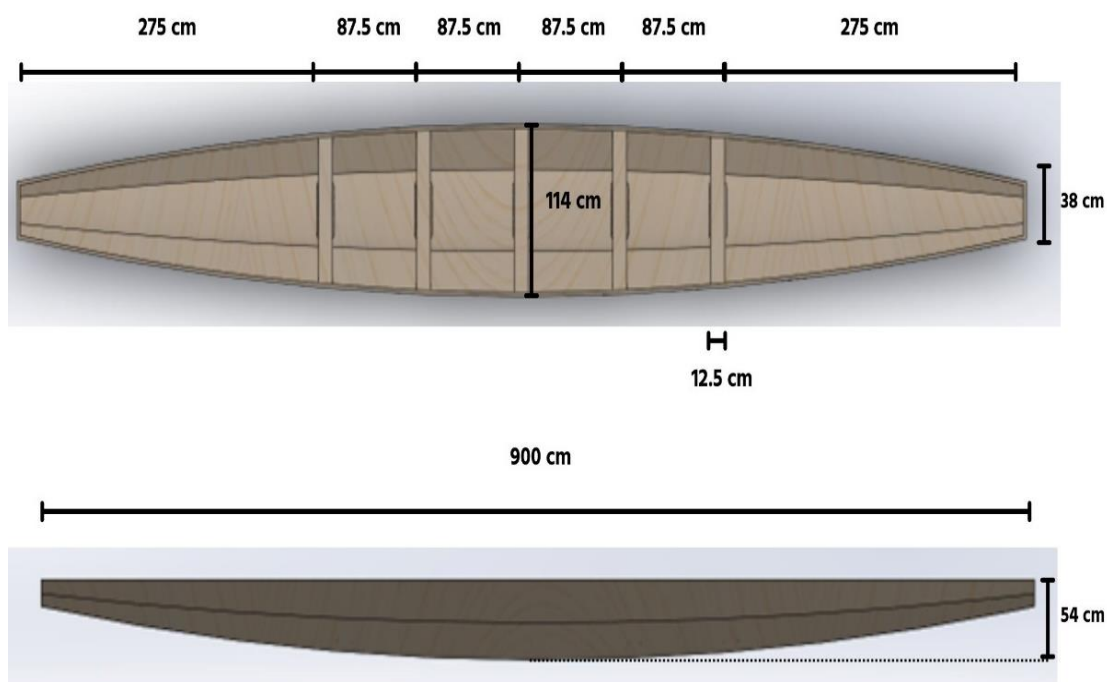


ภาพประกอบ 21 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.4.2 แบบจำลองและคุณสมบัติของเรือพายมังกร

3.4.2.1 แบบจำลอง

งานวิจัยนี้ใช้เรือพายมังกร 10 ฝีพาย โดยเรือพายมังกรทำจากไม้ มีขนาด กว้าง 114 เซนติเมตร ยาว 900 เซนติเมตร สูง 54 เซนติเมตร ตามมาตรฐานในการแข่งขัน (IDBF, 2013)



ภาพประกอบ 22 แบบจำลองและขนาดของเรือพายมังกร

3.4.2.2 คุณสมบัติของเรือพายมังกร

ตาราง 1 คุณสมบัติของเรือพายมังกร

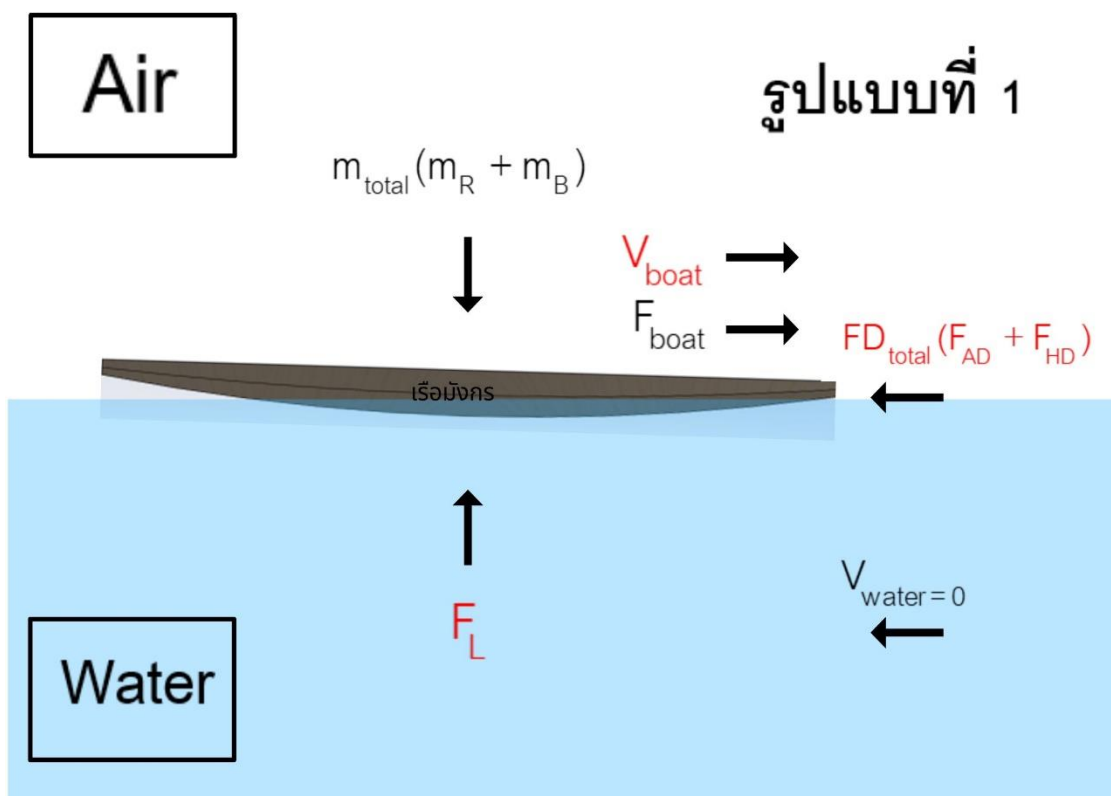
เรือพายมังกร	
วัสดุ	ไม้ตะเคียน
ความหนาแน่น (kg / m^3)	800
มวล (kg)	180

3.4.3 เงื่อนไขขอบเขต

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกง 10 ปีพาย เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของนักพายเรือที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด หรือใช้ระยะเวลาในการพายน้อยที่สุดในระยะทาง 200 เมตร โดยทำการป้อนค่าน้ำหนัก และแรงที่ใช้ในการพายของนักกีฬา เพื่อทำนายเวลาของการพายเรือ

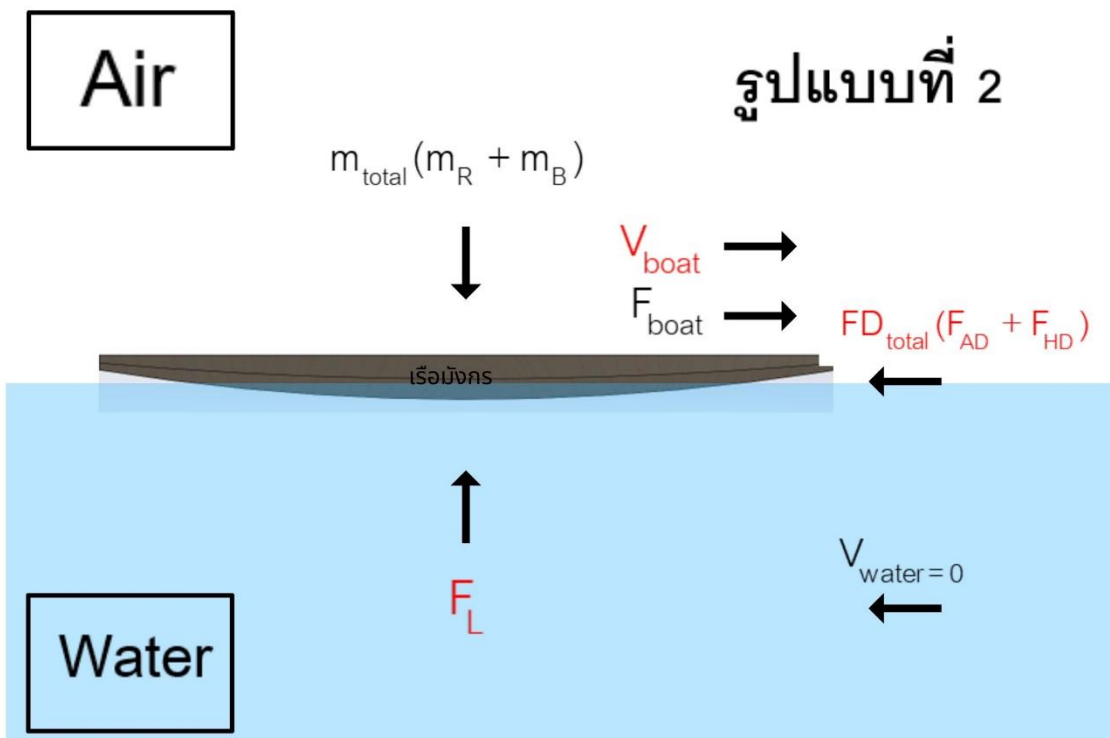
3.4.3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Numerical Model)

รูปแบบที่ 1 กำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย



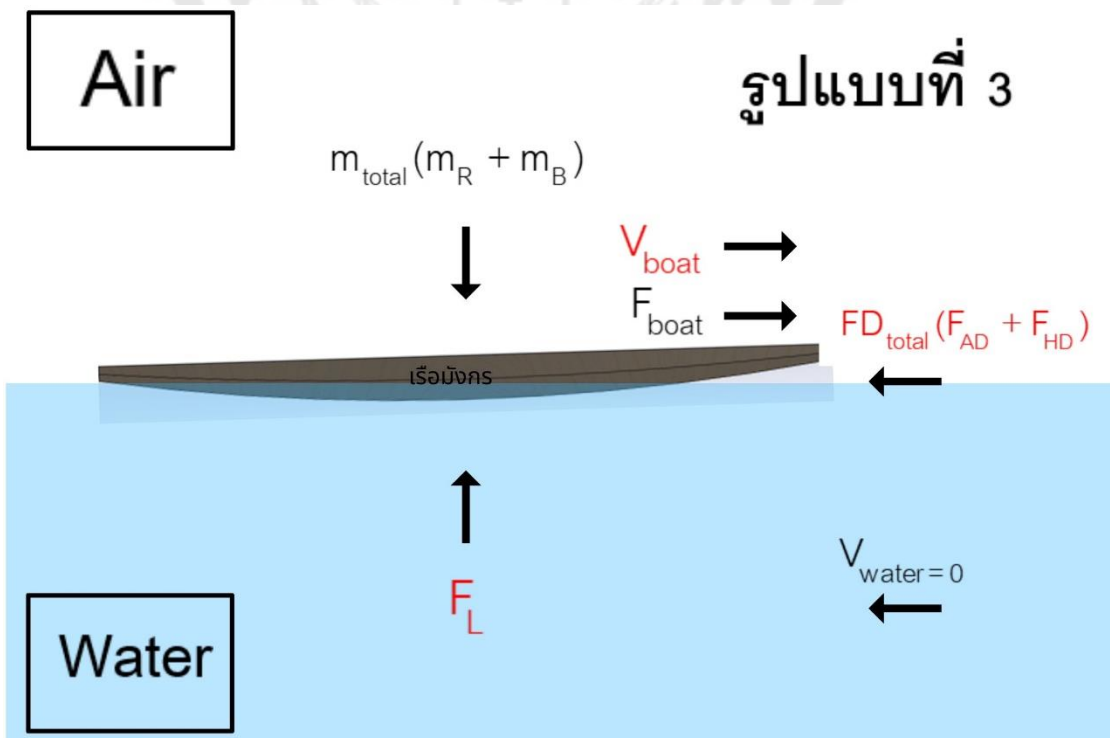
ภาพประกอบ 23 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2 กำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย



ภาพประกอบ 24 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 3 กำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือพาย



ภาพประกอบ 25 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่ 3

3.4.3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการจำลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้กำหนดให้อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ใช้ในการจำลอง ดังนี้

ตัวแปรต้น

1. น้ำหนักของนักพายเรือ

ตัวแปรตาม

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

ตัวแปรควบคุม

1. เรือพายที่ใช้เป็นเรือพายมังกร 10 ฝีพาย มีขนาด ความกว้าง 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 โดยแบ่งเป็นเฟสนี้กับเฟสอากาศ
6. ไม่คิดข้อมูลของใบพาย

3.4.3.3 คุณสมบัติของของไหล

ตาราง 2 คุณสมบัติของของไหล

Property	Air	Water-liquid
Density (kg / m^3)	1.225	998.2
Specific Heat ($J / kg \cdot K$)	1,006.43	4,182
Thermal Conductivity ($W / m \cdot K$)	0.0242	0.6
Viscosity ($kg / m \cdot s$)	1.7894e-05	0.001003
Molecular Weight ($kg / kmol$)	28.9666	18.0152
Standard State Entropy ($J / kmol \cdot K$)	194,336	69,902.21
Reference Temperature (K)	298.15	298

3.4.4 การวิเคราะห์แบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench

แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

3.4.4.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study)

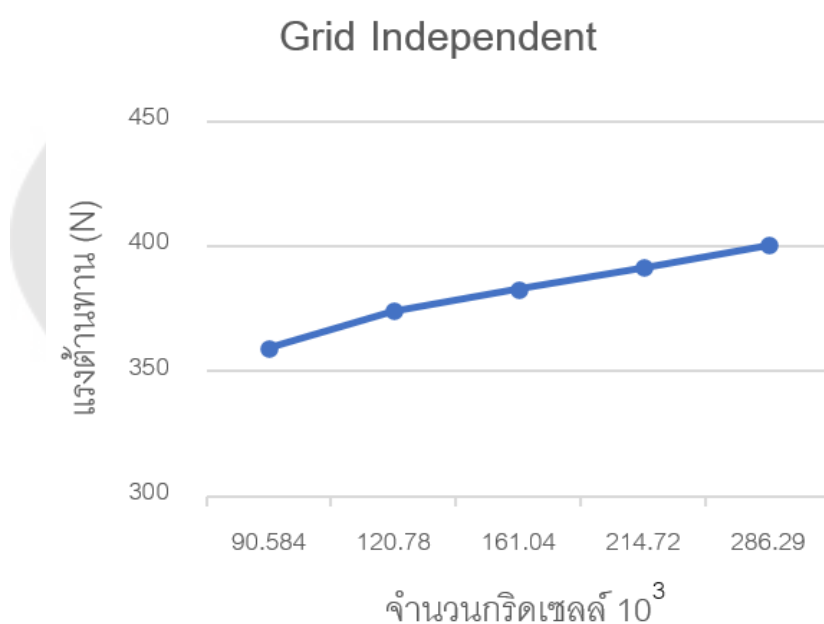
การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด คือการตรวจสอบจำนวนกริดเซลล์ เพื่อให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดสำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาจากแรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเทียบกับจำนวนกริดเซลล์ โดยการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดทั้ง 3 รูปแบบ มีดังนี้

3.4.4.1.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 1

การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 1 คือกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย จากการตรวจสอบพบว่าจำนวนกริดเซลล์ที่ 120,778 กริดเซลล์ และ 161,037 กริดเซลล์ มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยกว่า 3% ดังนั้น กริดเซลล์ที่ 161,037 กริดเซลล์ จึงมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ หากมีการเพิ่มจำนวนของกริดเซลล์นั้น พบว่ามีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตาราง 3 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 1

จำนวนกริดเซลล์ (กริดเซลล์)	แรงต้านทาน (N)	ความแตกต่างของกริด เซลล์ (%)
90,584	359.427	
120,778	374.133	3.93
161,037	382.632	2.22
214,716	391.484	2.26
286,288	400.494	2.24



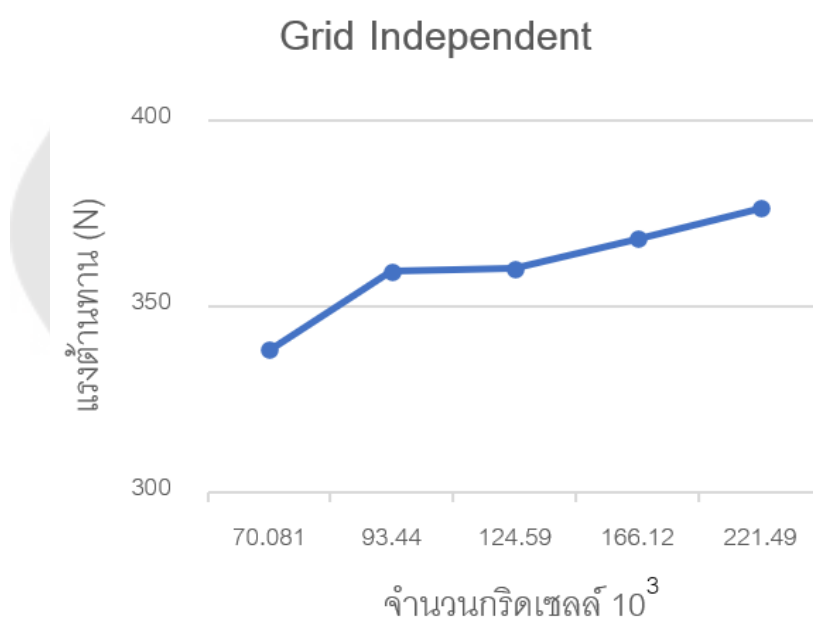
ภาพประกอบ 26 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 1

3.4.4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 2

การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 2 คือกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย จากการตรวจสอบพบว่าจำนวนกริดเซลล์ที่ 93,441 กริดเซลล์ และ 124,588 กริดเซลล์ มีเปอร์เซ็นต์ความต่างน้อยกว่า 3% ดังนั้น กริดเซลล์ที่ 124,588 กริดเซลล์ จึงมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี หากมีการเพิ่มจำนวนของกริดเซลล์นั้น พบว่ามีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตาราง 4 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 2

จำนวนกริดเซลล์ (กริดเซลล์)	แรงต้านทาน (N)	ความแตกต่างของกริด เซลล์ (%)
70,081	338.219	
93,441	352.256	3.98
124,588	360.079	2.17
166,117	368.013	2.16
221,489	376.165	2.17



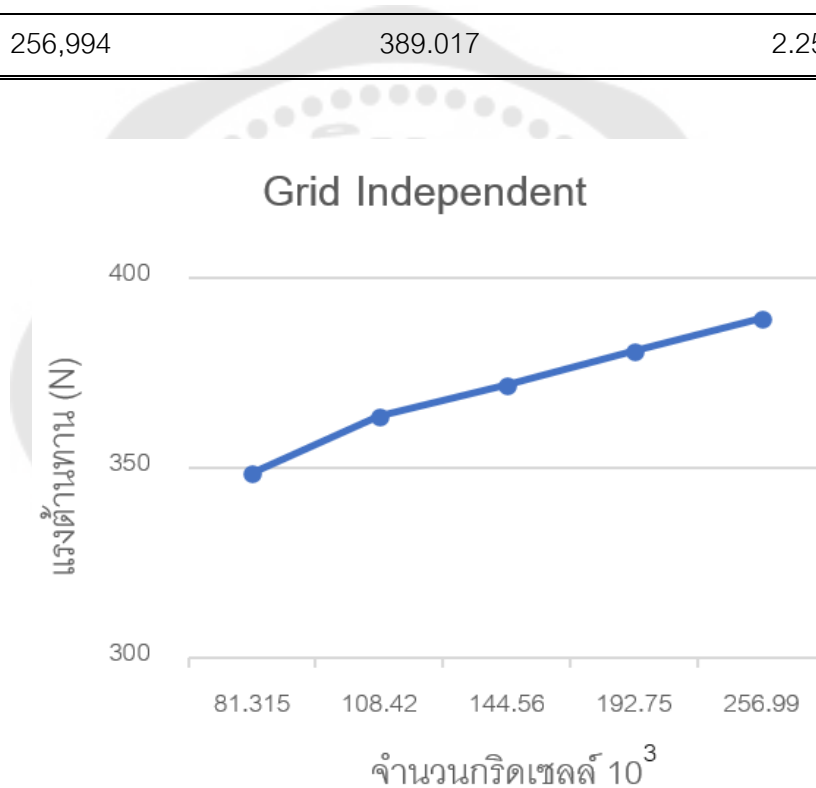
ภาพประกอบ 27 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 2

3.4.4.1.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 3

การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 3 คือกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือพาย จากการตรวจสอบพบว่าจำนวนกริดเซลล์ที่ 108,420 กริดเซลล์ และ 144,560 กริดเซลล์ มีเปอร์เซ็นต์ความต่างน้อยกว่า 3% ดังนั้น กริดเซลล์ที่ 144,560 กริดเซลล์ จึงมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี หากมีการเพิ่มจำนวนของกริดเซลล์นั้น พบว่ามีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตาราง 5 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 3

จำนวนกริดเซลล์ (กริดเซลล์)	แรงต้านทาน (N)	ความแตกต่างของกริด เซลล์ (%)
81,315	348.453	
108,420	363.268	4.08
144,560	371.481	2.21
192,746	380.245	2.23
256,994	389.017	2.25



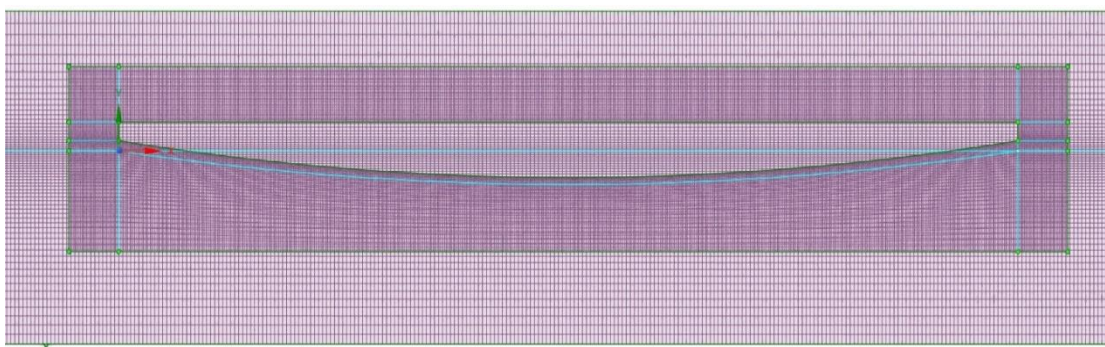
ภาพประกอบ 28 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด รูปแบบที่ 3

3.4.4.2 การเตรียมแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของของไหลที่มากระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกวไรใช้เอลิเมนต์แบบ Hex Mesh โดยใช้วิธีการ Blocking Mesh เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้เป็น Multiphase ทำให้การใช้เอลิเมนต์ชนิดนี้แบ่งแยกเฟสอากาศกับเฟสน้ำได้ชัดเจน โดยจำนวนกริดเซลล์ของทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าดังนี้

3.4.4.2.1 แบบจำลอง รูปแบบที่ 1

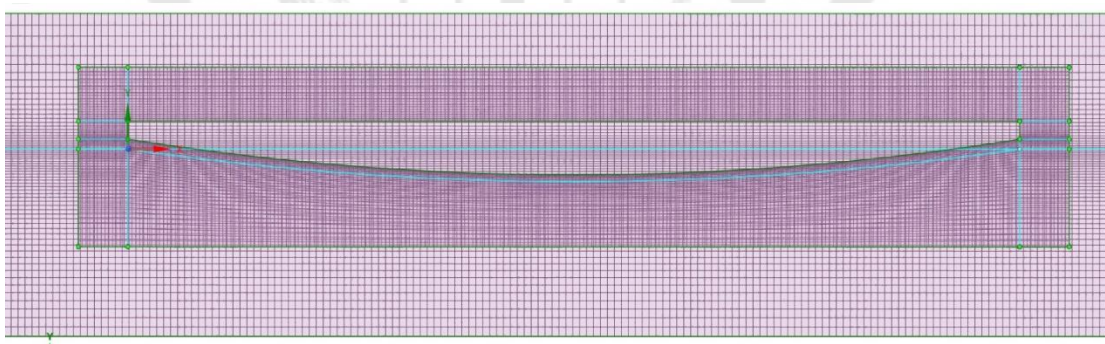
แบบจำลอง รูปแบบที่ 1 คือกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย โดยมีจำนวนกริดเซลล์เท่ากับ 161,037 กริดเซลล์ และมีค่าคุณภาพของกริดเซลล์เท่ากับ 0.48213



ภาพประกอบ 29 แบบจำลองรูปแบบที่ 1

3.4.4.2.2 แบบจำลอง รูปแบบที่ 2

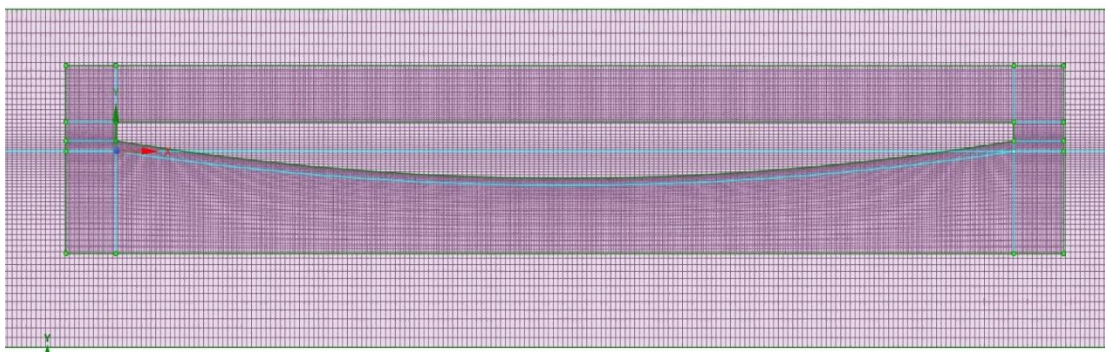
แบบจำลอง รูปแบบที่ 2 คือกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย โดยมีจำนวนกริดเซลล์เท่ากับ 124,588 กริดเซลล์ และมีค่าคุณภาพของกริดเซลล์เท่ากับ 0.47647



ภาพประกอบ 30 แบบจำลองรูปแบบที่ 2

3.4.4.2.3 แบบจำลอง รูปแบบที่ 3

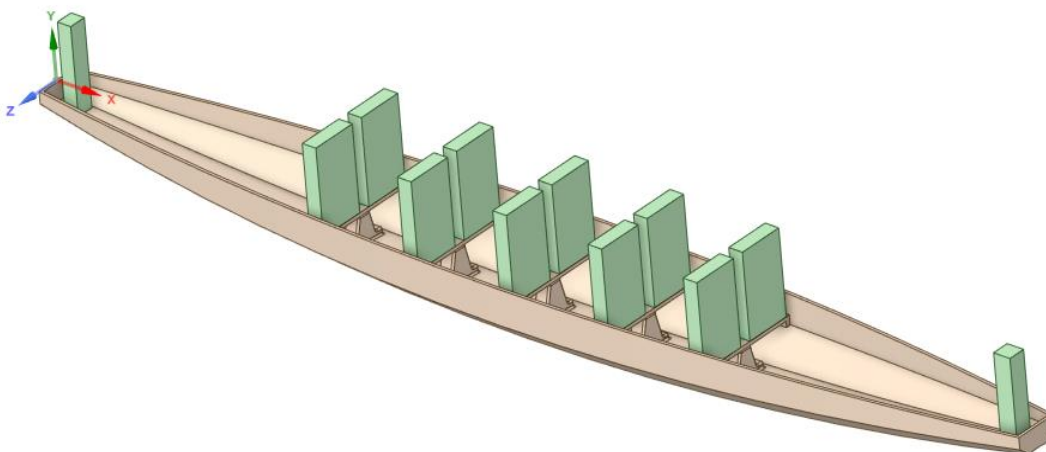
แบบจำลอง รูปแบบที่ 3 คือกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือพาย โดยมีจำนวนกริดเซลล์เท่ากับ 144,560 กริดเซลล์ และมีค่าคุณภาพของกริดเซลล์เท่ากับ 0.46234



ภาพประกอบ 31 แบบจำลองรูปแบบที่ 3

3.4.4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักร

การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักร คือการวิเคราะห์ความจมน้ำของท้องเรือ การกระจายตัวของน้ำหนักรักพายเรือที่กระทำต่อเรือ และการกระจายตัวของน้ำหนักรักพายเรือและเรือที่กระทำกับน้ำ โดยใช้โปรแกรม Ansys Spaceclaim ในการป้อนข้อมูลน้ำหนักรักพายเรือแต่ละจุดตามรูปแบบตำแหน่งที่กำหนด จากนั้นใช้โปรแกรม Ansys Fluent วิเคราะห์หาความจมน้ำของท้องเรือ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์แรงและความเร็วเรือในขั้นต่อไป

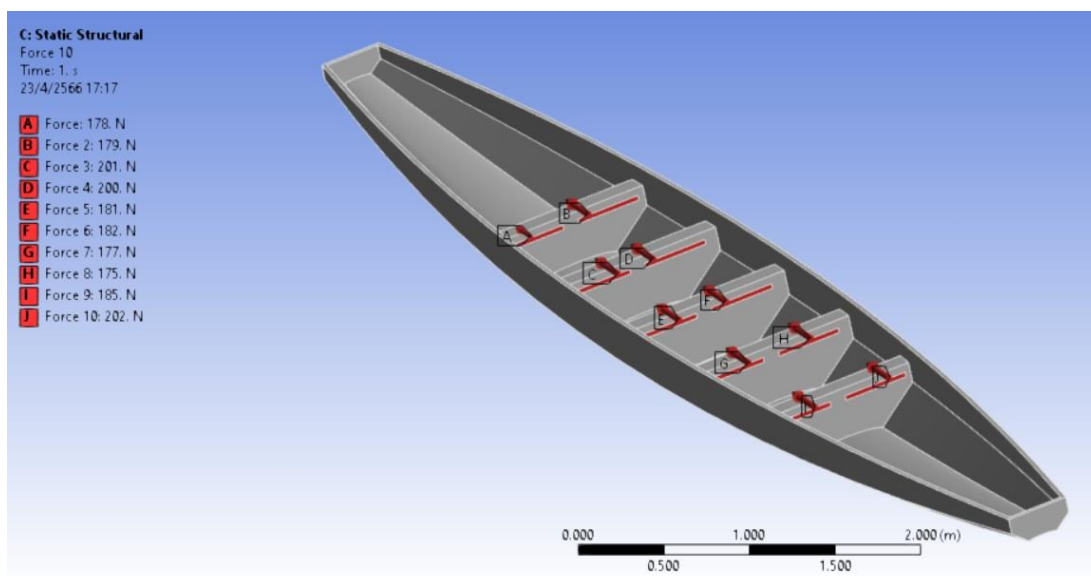


ภาพประกอบ 32 การกระจายตัวของน้ำหนักร

3.4.4.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร คือการวิเคราะห์เวลา และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพาย ตลอดจนแรงต้านทานและแรงยกที่มากกระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือ โดยทำการป้อนข้อมูลแรงของนักพายเรือในแต่ละจุดตามรูปแบบตำแหน่งที่กำหนด ในโปรแกรม

Static Structural กำหนดค่าแรงเทียบกับเวลาให้อยู่ในรูปของกราฟ Sine ต่อ 1 การพาย จากนั้นนำค่า Force Reaction สูงสุดมาวิเคราะห์หาความเร็วและเวลาในการเคลื่อนที่ของเรือพายในโปรแกรม Ansys Fluent ทั้งนี้สามารถทำการวิเคราะห์แรงต้านทานและแรงยกที่มากกระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายที่ส่งผลต่อความเร็วและเวลาในการพาย



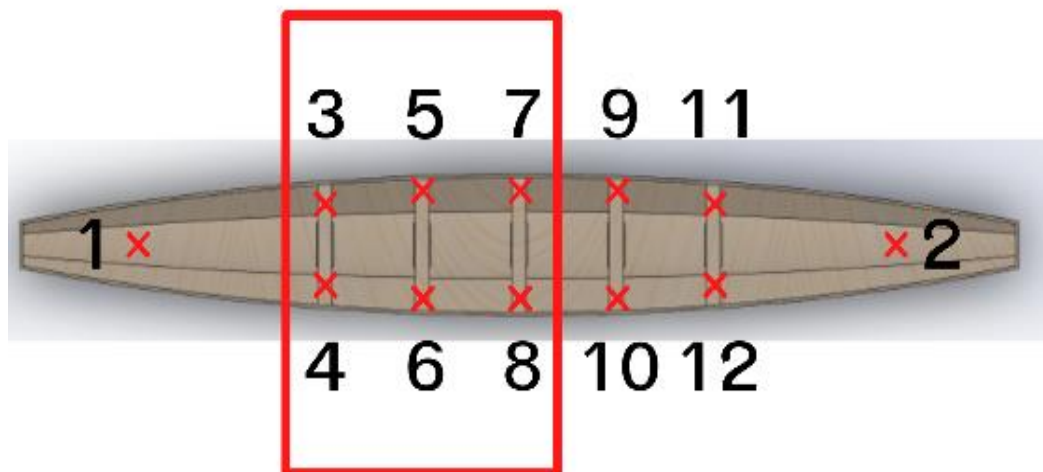
ภาพประกอบ 33 การวิเคราะห์แรงและความเร็วของเรือ

3.5 การค้นหารูปแบบตำแหน่งนักพายเรือ

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องพายเรือ (Ergometer) เพื่อวัดกำลังของนักพายเรือและใช้เครื่องชั่งน้ำหนักในการวัดน้ำหนักตัวของนักพายเรือ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้เป็นนักพายเรือมั่งกรชายที่ทีมชาติไทยจำนวน 12 คน แบ่งออกเป็นคนตีกลอง 1 คน คนคัดท้าย 1 คน และนักพายเรือ 10 คน จากนั้นทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพายเรือมั่งกรขึ้นมา เพื่อใช้ทำนายความเร็วและเวลาในการเคลื่อนที่ของเรือพาย ตลอดจนพฤติกรรมของของไหลที่มากระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในระยะทาง 200 เมตร ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench ในการคำนวณหาผลลัพธ์ โดยกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

3.5.1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 1



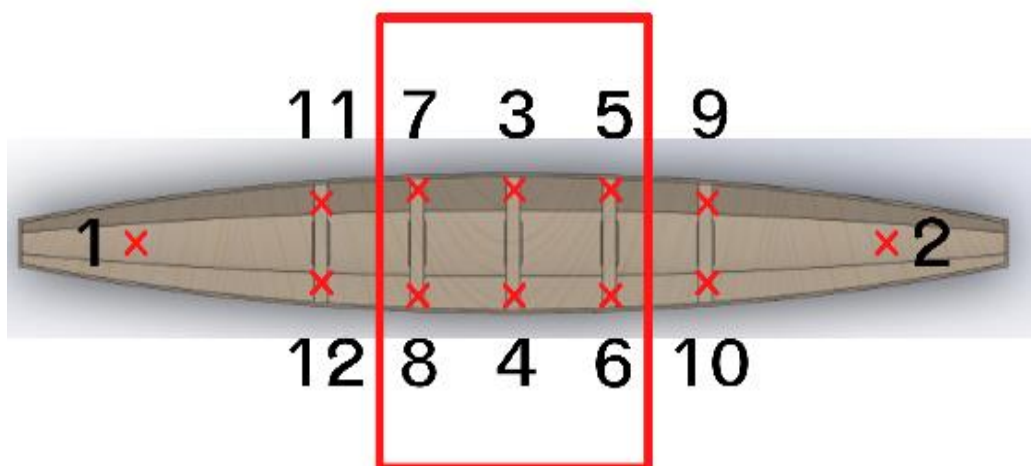
ภาพประกอบ 34 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ รูปแบบที่ 1

ตาราง 6 น้ำหนักและแรงของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ รูปแบบที่ 1

ตำแหน่งของนักพายเรือ	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

3.5.2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 2



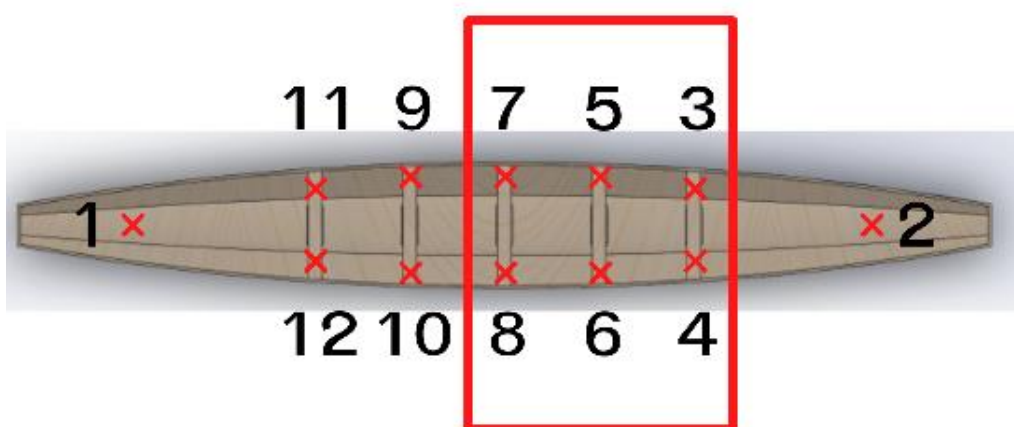
ภาพประกอบ 35 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ รูปแบบที่ 2

ตาราง 7 น้ำหนักและแรงของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ รูปแบบที่ 2

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

3.5.3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ รูปแบบที่ 3

รูปแบบที่ 3



ภาพประกอบ 36 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ รูปแบบที่ 3

ตาราง 8 น้ำหนักและแรงของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ รูปแบบที่ 3

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

บทที่ 4

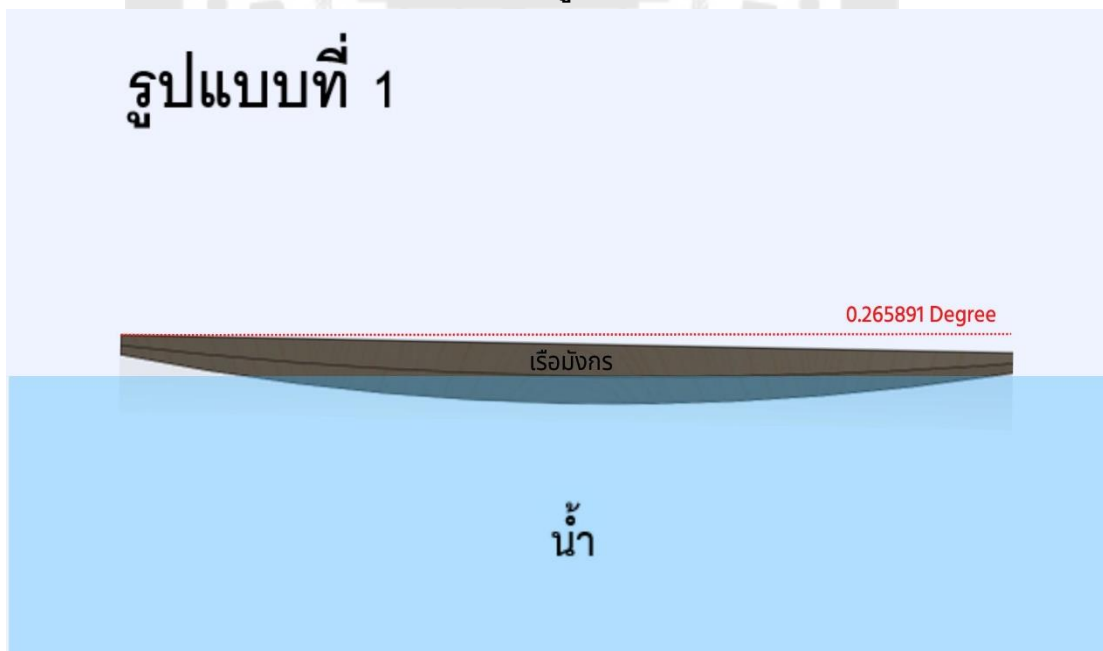
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร และหารูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือที่ทำให้เรือพายมังกรมีประสิทธิภาพสูงสุดในการแข่งขันในระยะทาง 200 เมตร ตลอดจนศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรที่ส่งผลต่อความเร็วภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยทำการเปรียบเทียบรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือใน 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย (2) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย (3) ให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผล โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

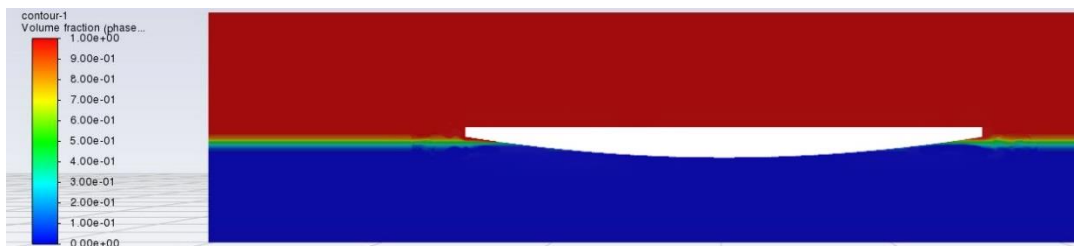
4.1 การกระจายตัวของน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักนักพายเรือและเรือที่กระทำกับน้ำโดยใช้ Ansys Spaceclaim ใน 3 รูปแบบ มีดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1



ภาพประกอบ 37 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1



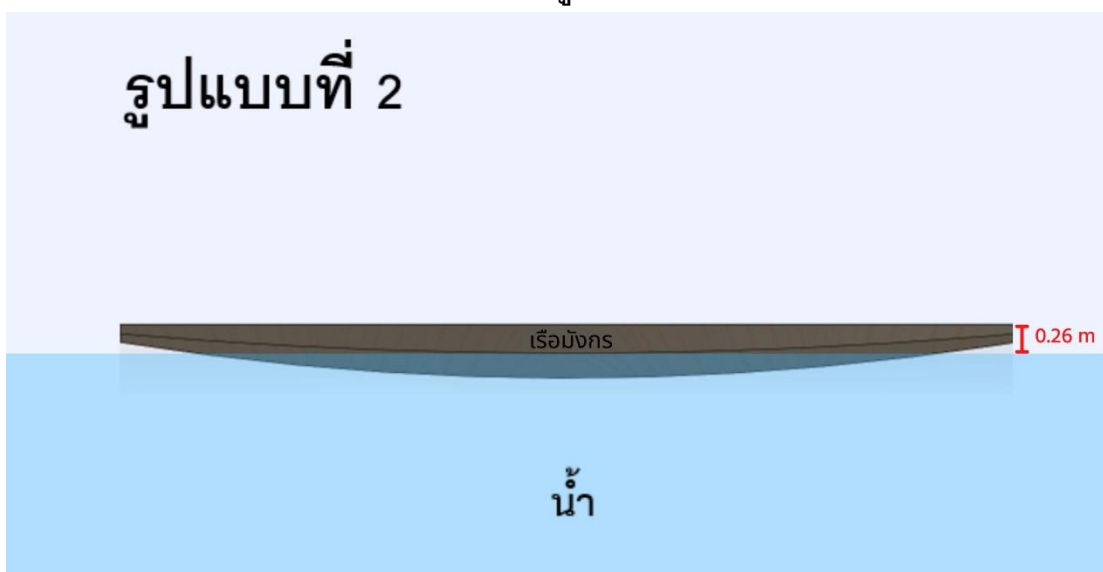
ภาพประกอบ 38 Contour การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1

ตาราง 9 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1

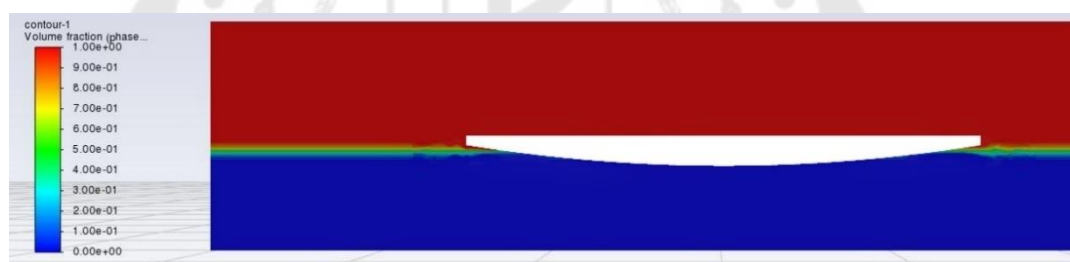
Mass (kg)	1130.933767
Volume (m^3)	0.761303
Center of mass (m)	(4.575013, -0.288478, 2.6e-0.5)
Total surface area (m^2)	38.21868
Principal moment and axis x ($kg \cdot m^2$)	176.742096 (1, 0.0026, 0)
Principal moment and axis y ($kg \cdot m^2$)	4858.202509 (-0.00226, 0.99999, 0.00473)
Principal moment and axis z ($kg \cdot m^2$)	4859.021248 (0.00001, -0.00473, 0.99999)
Known relative accuracy (%)	0.001

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 1 โดยกำหนดให้น้ำหนักของน้ำหนักรูปแบบที่ 1 มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย (รูปแบบที่ 1) มีค่าการจมของหน้าเรือทำมุม 0.266 องศา กับแนวระนาบของผิวน้ำ

4.1.2 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2



ภาพประกอบ 39 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2



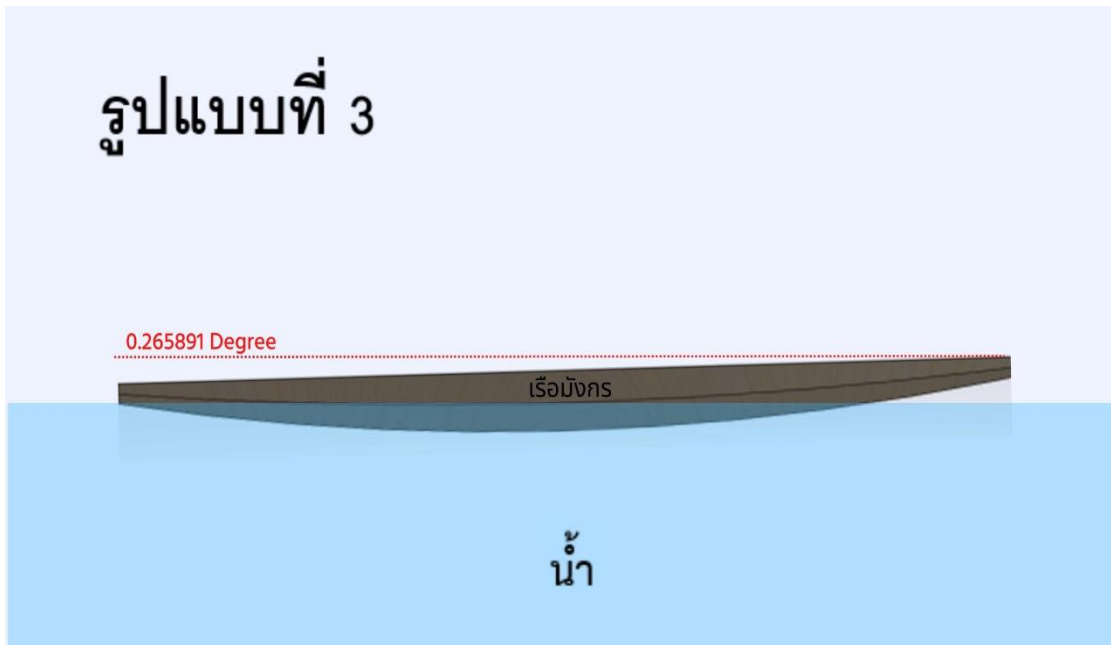
ภาพประกอบ 40 Contour การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2

ตาราง 10 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 2

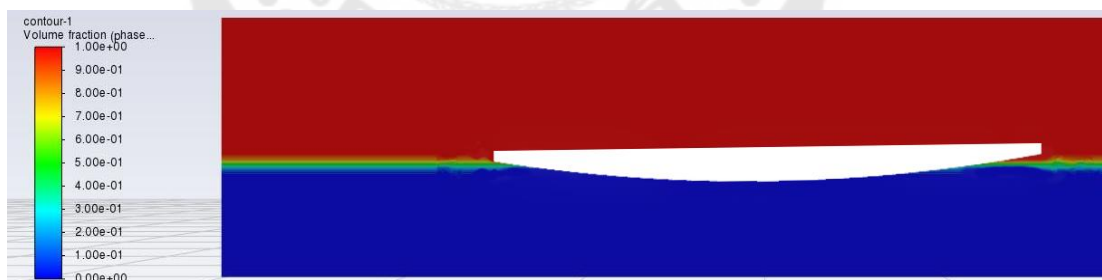
Mass (kg)	1130.9338
Volume (m^3)	0.761303
Center of mass (m)	(4.4961, -0.2885, 0)
Total surface area (m^2)	38.2187
Principal moment and axis x ($kg \cdot m^2$)	176.7632 (1, 0.00016, -0.00076)
Principal moment and axis y ($kg \cdot m^2$)	4771.1189 (0.00016, 0.99999, 0.0039)
Principal moment and axis z ($kg \cdot m^2$)	4771.9641 (0.00076, -0.0039, 0.99999)
Known relative accuracy (%)	0.001

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักปีกพายเรือ โดยกำหนดให้ปีกพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตำแหน่งกลางของเรือพาย (รูปแบบที่ 2) มีค่า 0.26 เมตร จากกราบเรือถึงผิวน้ำ

4.1.3 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3



ภาพประกอบ 41 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3



ภาพประกอบ 42 Contour การกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3

ตาราง 11 ผลการกระจายตัวของน้ำหนักรูปแบบที่ 3

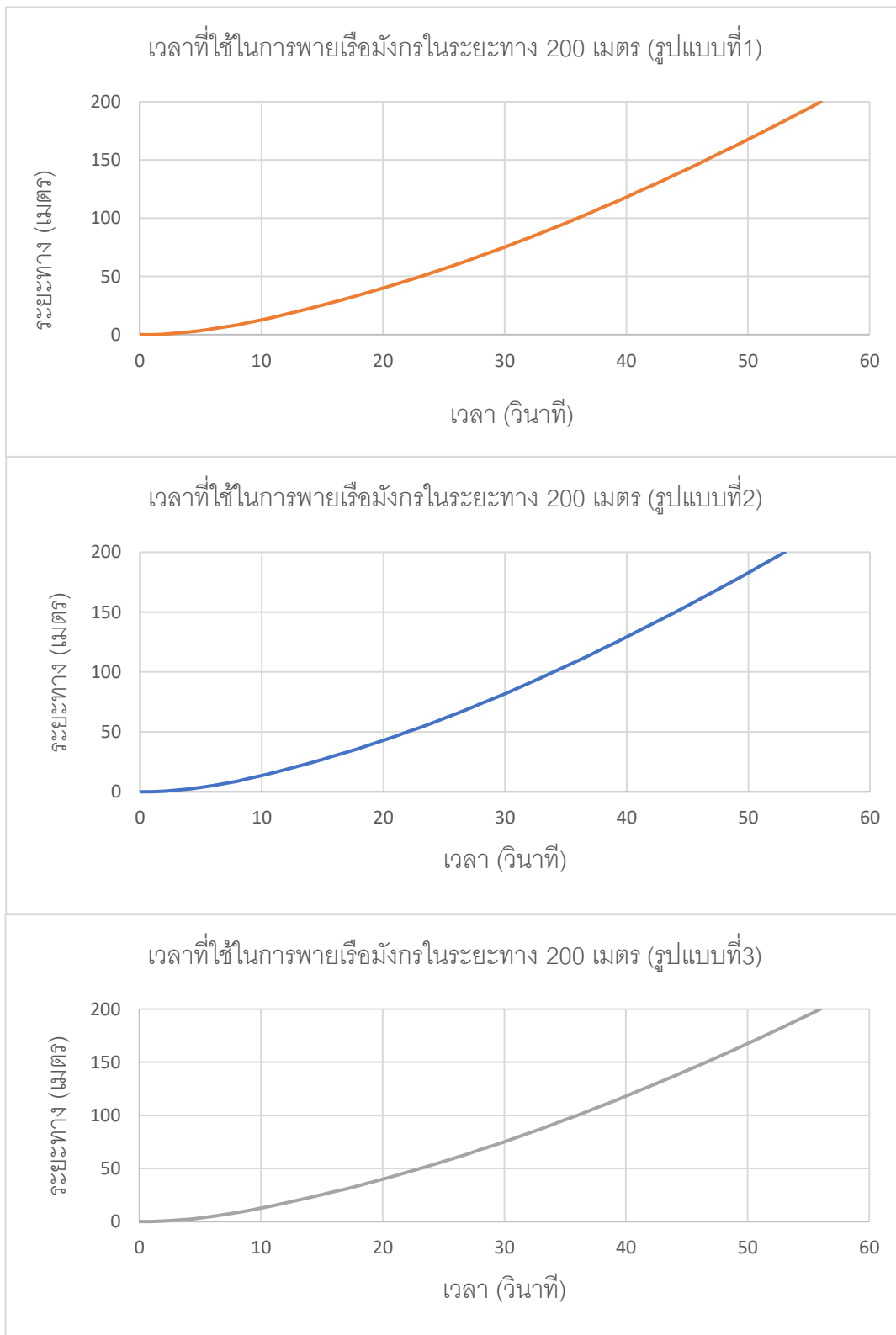
Mass (kg)	1129.9489
Volume (m^3)	0.7613
Center of mass (m)	(4.4195, -0.288, 0.0002)
Total surface area (m^2)	38.4594
Principal moment and axis x ($kg \cdot m^2$)	176.6082 (1, -0.00251, 0.00005)
Principal moment and axis y ($kg \cdot m^2$)	4859.503 (0.00251, 0.99895, 0.0457)
Principal moment and axis z ($kg \cdot m^2$)	4860.3357 (-0.00016, -0.0457, 0.99896)
Known relative accuracy (%)	0.001

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักนักพายเรือ โดยกำหนดให้นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือพาย (รูปแบบที่ 3) มีค่าการจมของท้ายเรือท่ามุ่ม 0.266 องศา กับแนวระนาบของผิวน้ำ

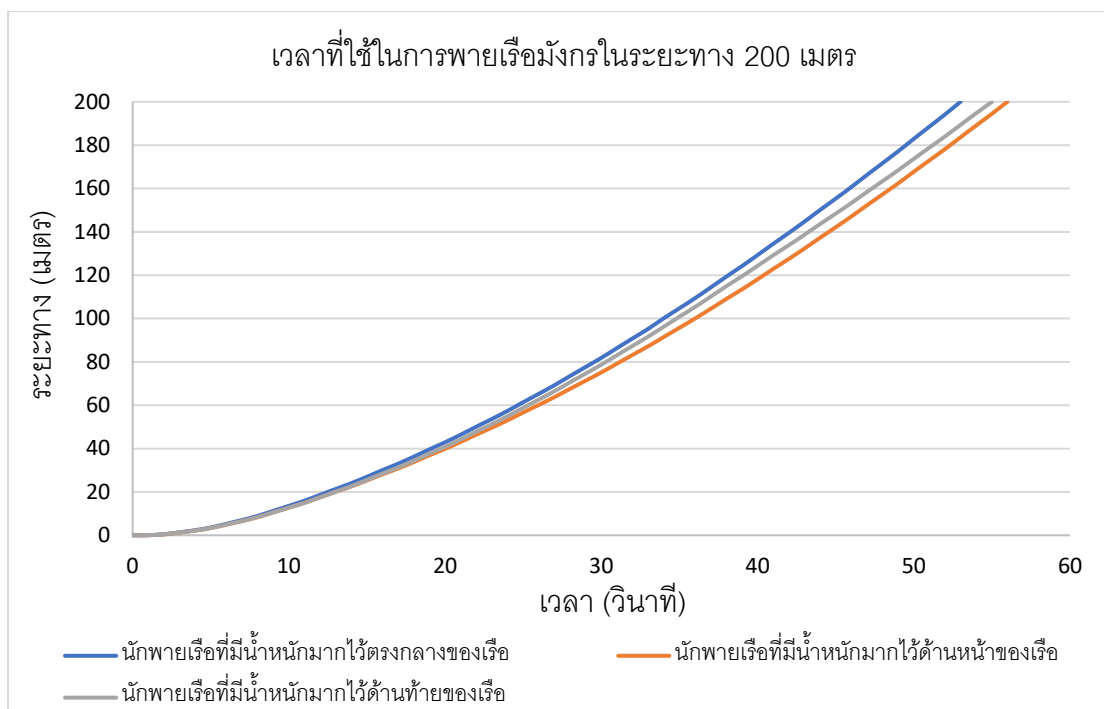
4.2 การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ในระยะทาง 200 เมตร

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร โดยนำค่าการจมของเรือพายมังกรที่ได้จากโปรแกรม Ansys Spaceclaim และค่า Force Reaction สูงสุดจากโปรแกรม Static Structural ใน 3 รูปแบบ มาทำการวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม Ansys Fluent โดยให้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.2.1 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 เมตร



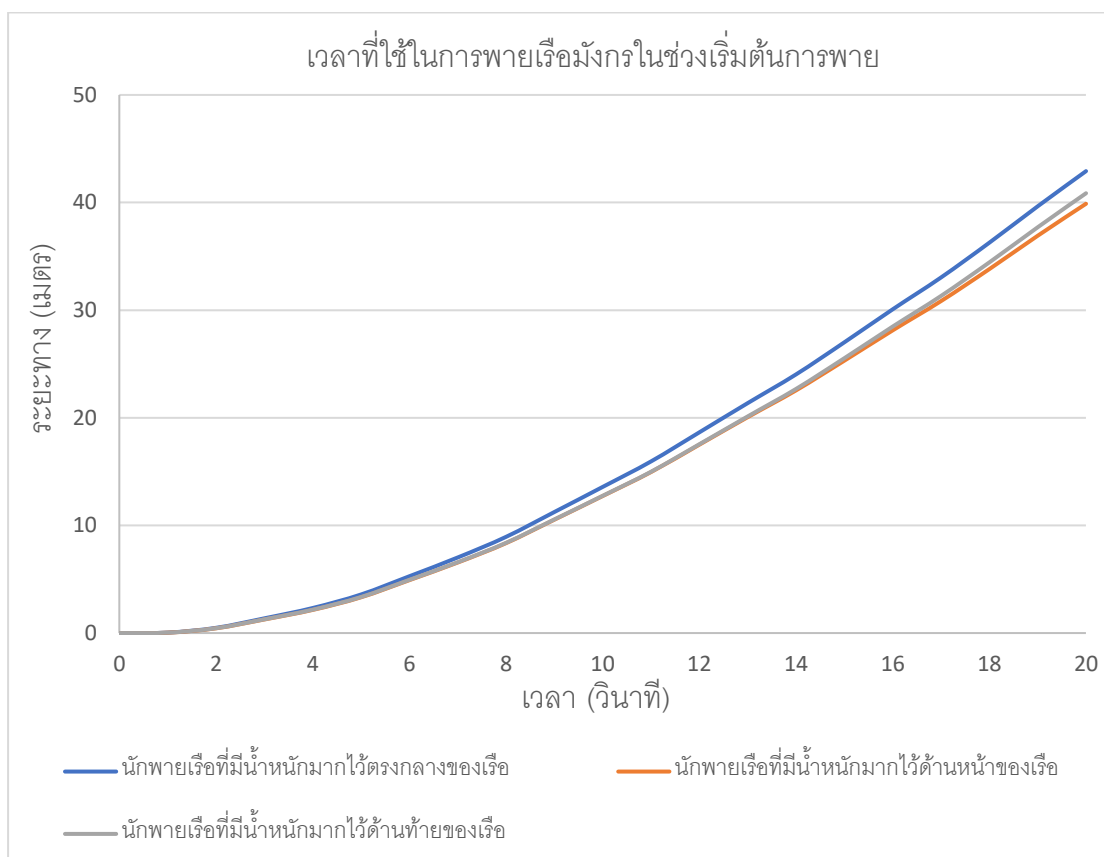
ภาพประกอบ 43 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรทั้ง 3 รูปแบบ



ภาพประกอบ 44 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 เมตร

จากภาพประกอบ 43-44 แสดงเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 เมตร ทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้ รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย มีค่าเวลาที่ใช้ในการพายเรือเท่ากับ 56 วินาที รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย มีค่าเวลาที่ใช้ในการพายเรือเท่ากับ 53 วินาที และรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย มีค่าเวลาที่ใช้ในการพายเรือเท่ากับ 55.01 วินาที จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย ให้ค่าเวลาที่ใช้ในการพายที่ดีที่สุดในระยะทาง 200 เมตร เนื่องจากมีการกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสมทำให้เกิดการสมดุลของเรือในการเคลื่อนที่ที่กระทำกับของไหล (Seo et al., 2017)

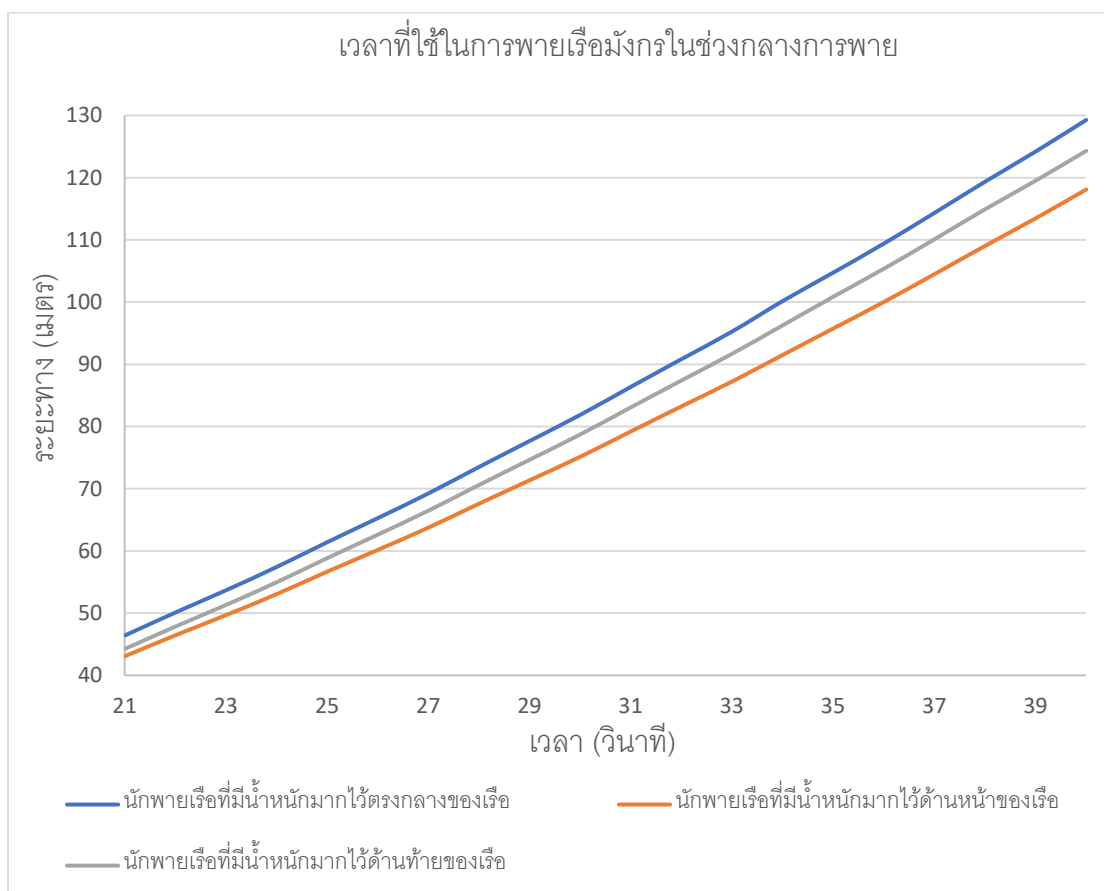
4.2.1.1 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย



ภาพประกอบ 45 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย

จากภาพประกอบ 45 แสดงเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงเริ่มต้นของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 0 - 20 วินาที จะเห็นว่าในช่วงเวลาที่ 0 - 7 วินาที ให้ค่าเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรทั้ง 3 รูปแบบที่ใกล้เคียงกันมาก พบว่ามีความแตกต่างกันไม่ถึง 1 % เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นในการออกแรงพาย เรือมีความเร็วต่ำ ถ้าดูจากกราฟความเร็วจะพบว่าการพายเพียง 2 ครั้งเท่านั้น จึงทำให้การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบมีค่าใกล้เคียงกัน

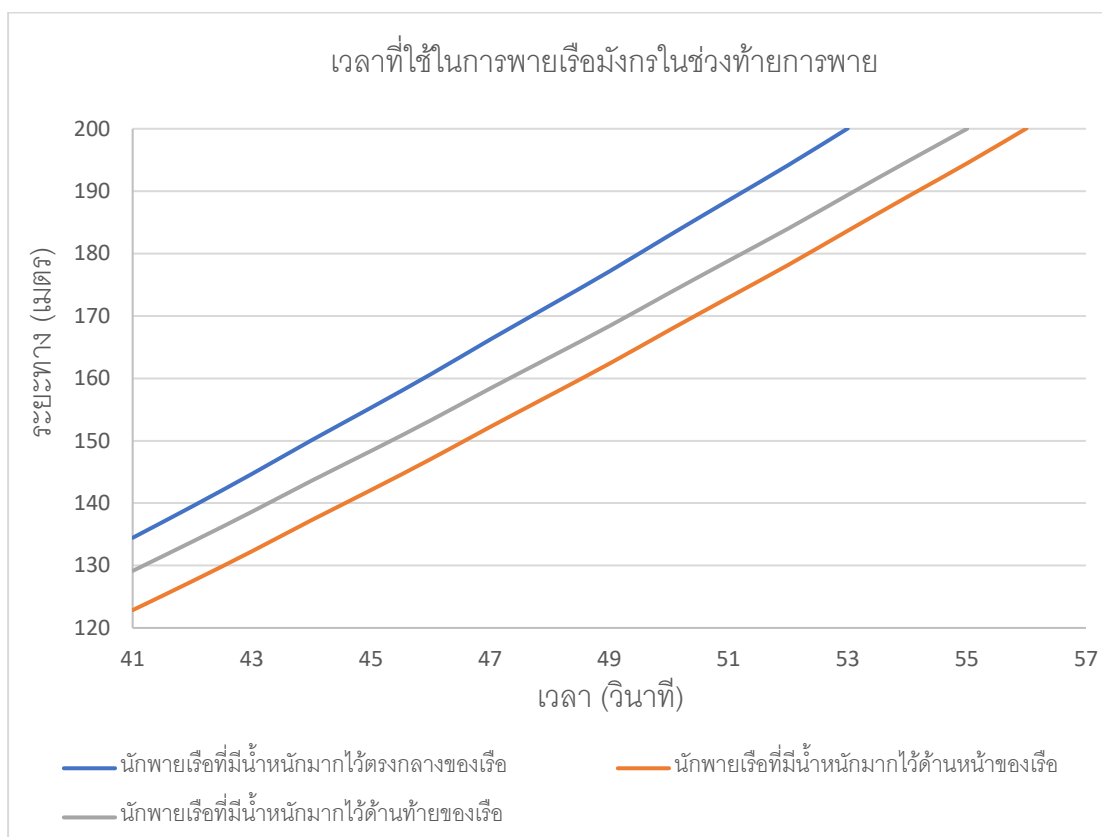
4.2.1.2 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงกลางการพาย



ภาพประกอบ 46 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงกลางการพาย

จากภาพประกอบ 46 แสดงเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงกลางของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 21-41 วินาที เป็นช่วงที่เรือพายเริ่มมีความเร็วสูงขึ้น ทำให้แรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบมีค่ามากขึ้น แต่จะพบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าระยะทางในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ ในเวลาที่เท่ากัน เนื่องจากมีการกระจายตัวของน้ำหนักนักพายเรือที่เหมาะสม ดังนั้นทำให้ทราบว่าการจัดรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเมื่อเวลาผ่านไป (Dudhia, 2008)

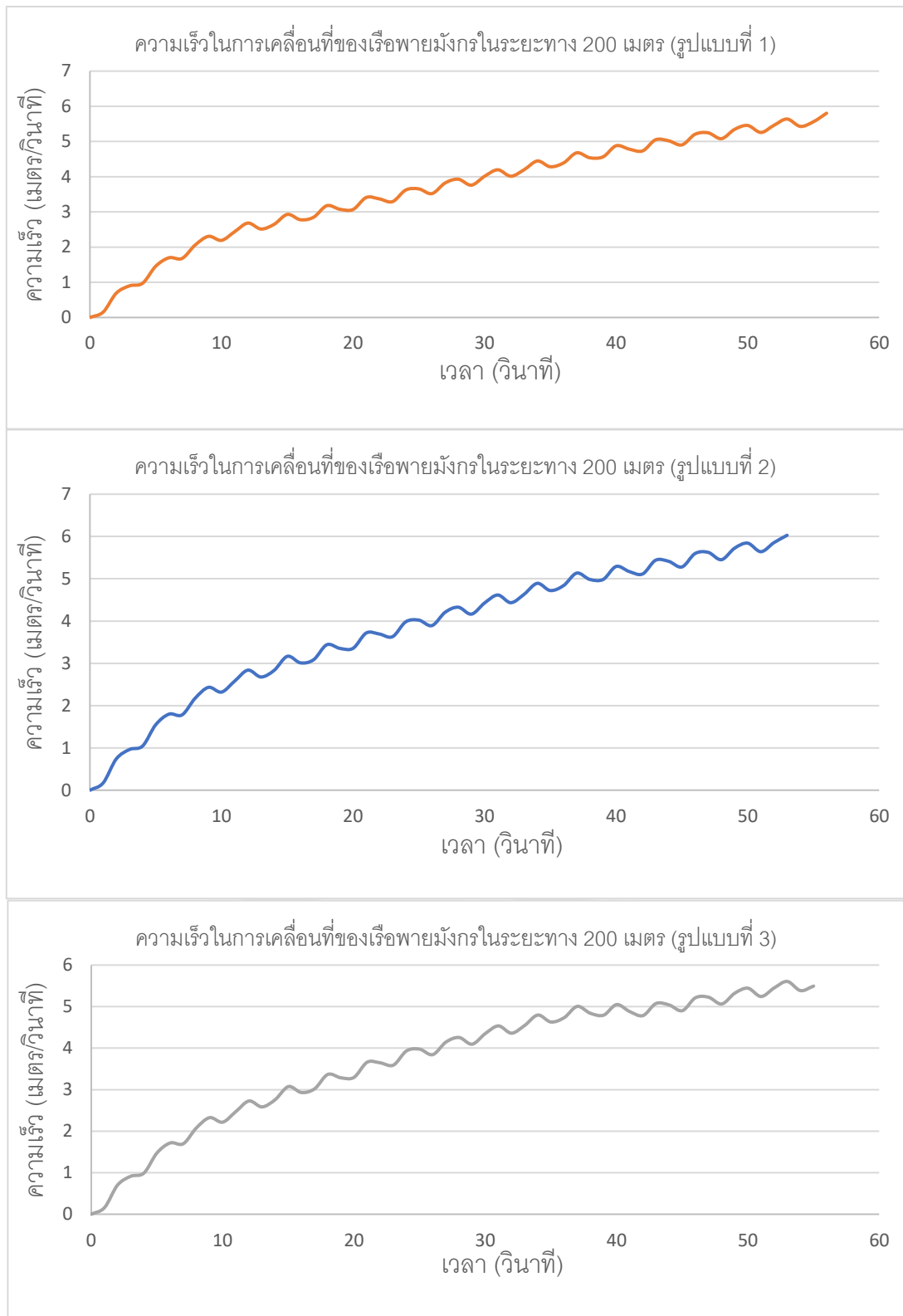
4.2.1.3 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงท้ายการพาย



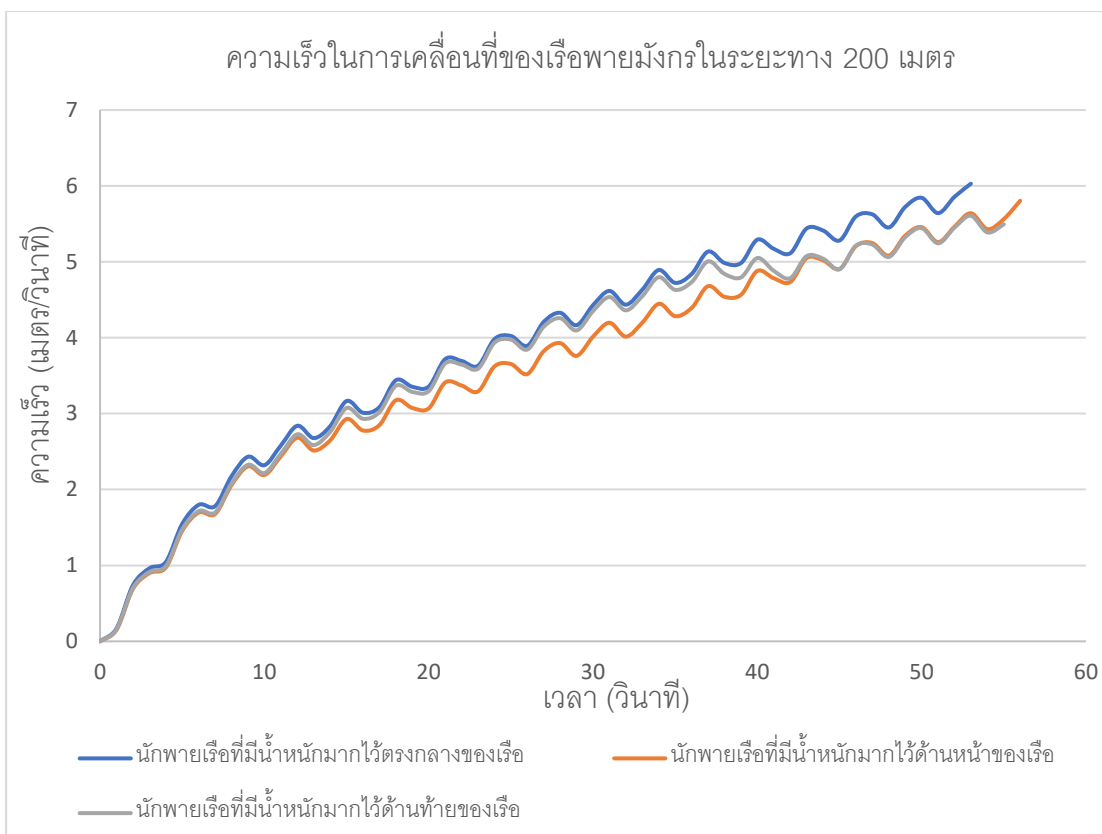
ภาพประกอบ 47 เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงท้ายการพาย

จากภาพประกอบ 47 แสดงเวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในช่วงท้ายของการพาย ทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 41 วินาทีไปจนถึงสิ้นสุดการพาย โดยจะพบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าเวลาน้อยกว่ารูปแบบอื่น ๆ ที่ระยะทาง 200 เมตร เนื่องจากมีความสมดุลของมวลทั้งหมด ทำให้การจัดรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือในรูปแบบนี้ดีที่สุดที่ระยะทางที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามอาจจะพบว่าผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบนี้ให้ผลลัพธ์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 เมตร แตกต่างกันเพียง 1-3 วินาทีเท่านั้น แต่ในการแข่งขันกีฬาเรือพายมังกรนั้นสามารถวัดผลการแข่งขันได้ด้วยเวลาเพียงหลักครึ่งวินาที (IDBF, 2016) ดังนั้นความแตกต่างของเวลาเพียง 1-3 วินาที จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับกีฬาเรือพายมังกร

4.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร



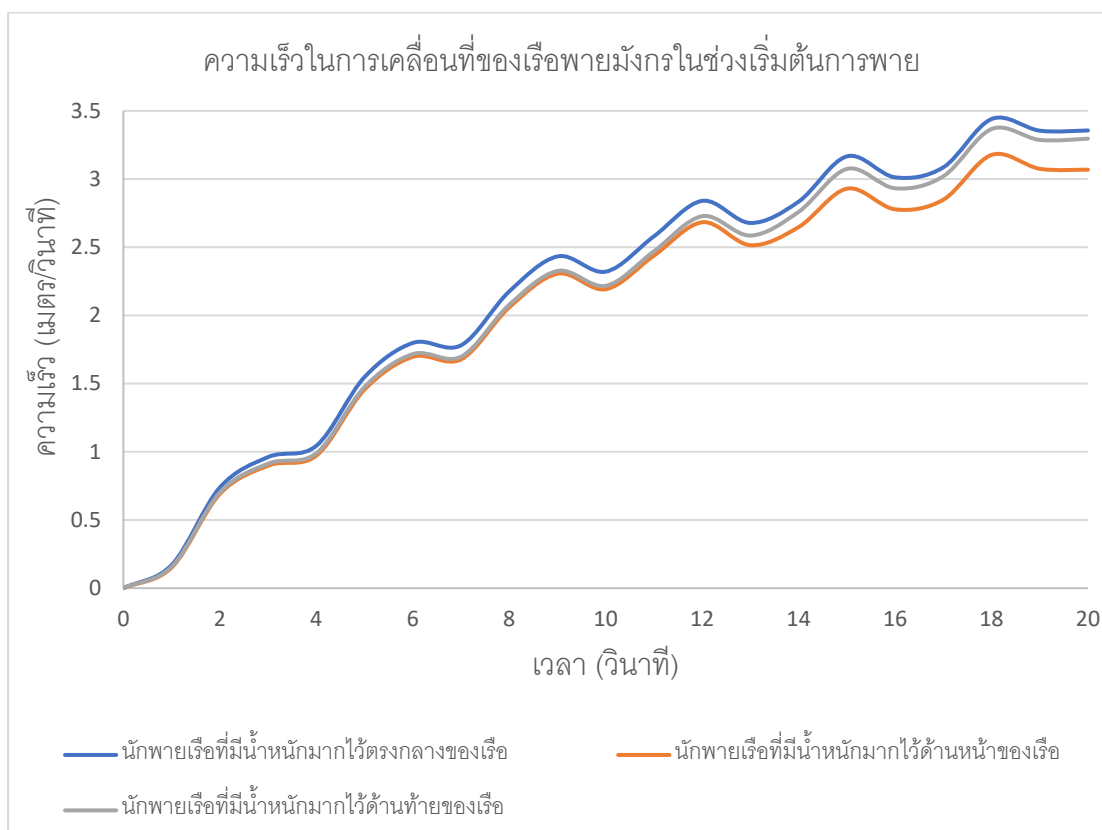
ภาพประกอบ 48 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบ



ภาพประกอบ 49 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกรในระยะทาง 200 เมตร

จากภาพประกอบ 48-49 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกรในระยะทาง 200 เมตรทั้ง 3 รูปแบบ พบว่ากราฟแสดงความเร็วกับเวลาในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกรมีลักษณะเป็นกราฟรูปคลื่น Sine ต่อกัน เนื่องจากในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าแรงของนักพายเรือคงที่ตลอดการพาย และค่าแรงของนักพายเรือต่อ หนึ่งการพายอยู่ในรูปของกราฟ Sine โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้ รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพายมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายเฉลี่ยเท่ากับ 3.628 m/s รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย มีความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายเฉลี่ยเท่ากับ 3.817 m/s และรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพายมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายเฉลี่ยเท่ากับ 3.727 m/s จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า รูปแบบที่ 2 คือการจัดตำแหน่งนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย ให้ผลลัพธ์ความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกรดีที่สุดในระยะทาง 200 เมตร เนื่องจากมีการกระจายตัวของน้ำหนักนักพายเรือที่เหมาะสมทำให้พื้นที่ผิวของเรือพายสัมพันธ์กับน้ำน้อยจึงทำให้มีความเร็วสูงสุด (Dudhia, 2008)

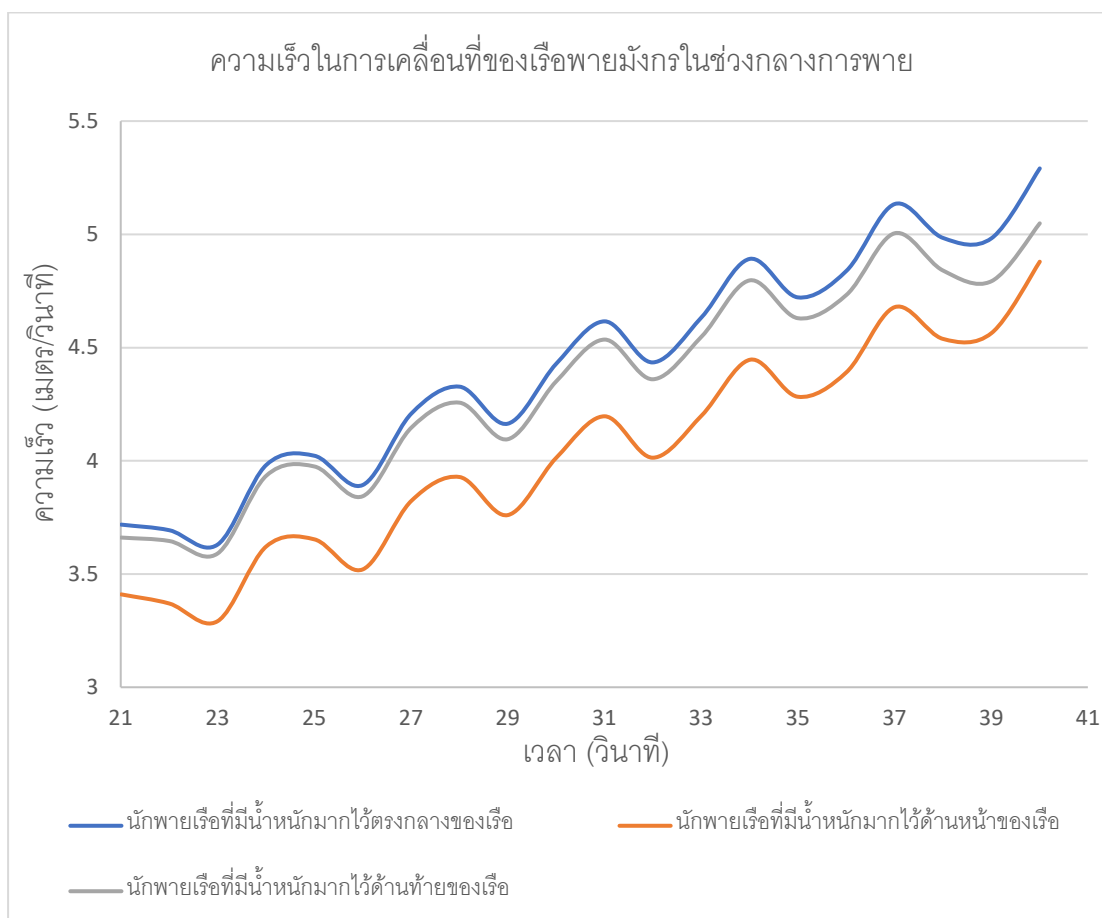
4.2.2.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย



ภาพประกอบ 50 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย

จากภาพประกอบ 50 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงเริ่มต้นของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 0-20 วินาที เป็นช่วงเริ่มต้นในการออกแรงพายจึงทำให้ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีความเร็วต่ำ พบว่าในช่วง 0-4 วินาที ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรทั้ง 3 รูปแบบมีค่าใกล้เคียงกันโดยที่มีความเร็วไม่มาก ต่อมาในช่วงเวลาที่ 5-12 วินาที รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ผลลัพธ์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากกว่ารูปแบบอื่น โดยที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในรูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย และรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังเรือพายให้ผลลัพธ์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรใกล้เคียงกัน และช่วงเวลาที่ 14-20 วินาที รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพายจะเริ่มมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย อย่างไรก็ตามพบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายยังคงให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ

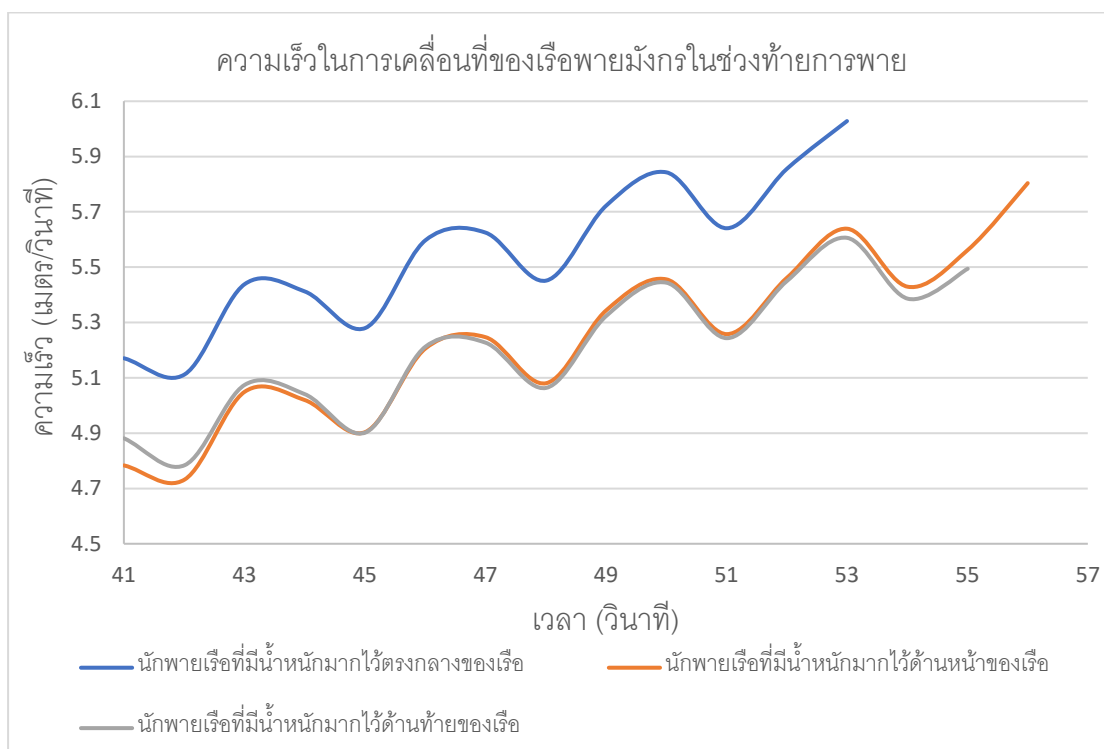
4.2.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย



ภาพประกอบ 51 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย

จากภาพประกอบ 51 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 21-40 วินาที พบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย มีค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย แต่รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพายให้ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายน้อยกว่ารูปแบบอื่น ๆ ที่เวลาเท่ากัน เนื่องจากมีน้ำหนักของนักพายเรือไปกดด้านหน้าของเรือพายมาก ทำให้พื้นที่ผิวด้านหน้าเรือสัมผัสกับน้ำมาก เป็นผลให้เกิดแรงต้านทานน้ำที่มากกระทบกับการเคลื่อนที่ของเรือมีมาก จึงส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายในรูปแบบนี้มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด

4.2.2.3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย



ภาพประกอบ 52 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย

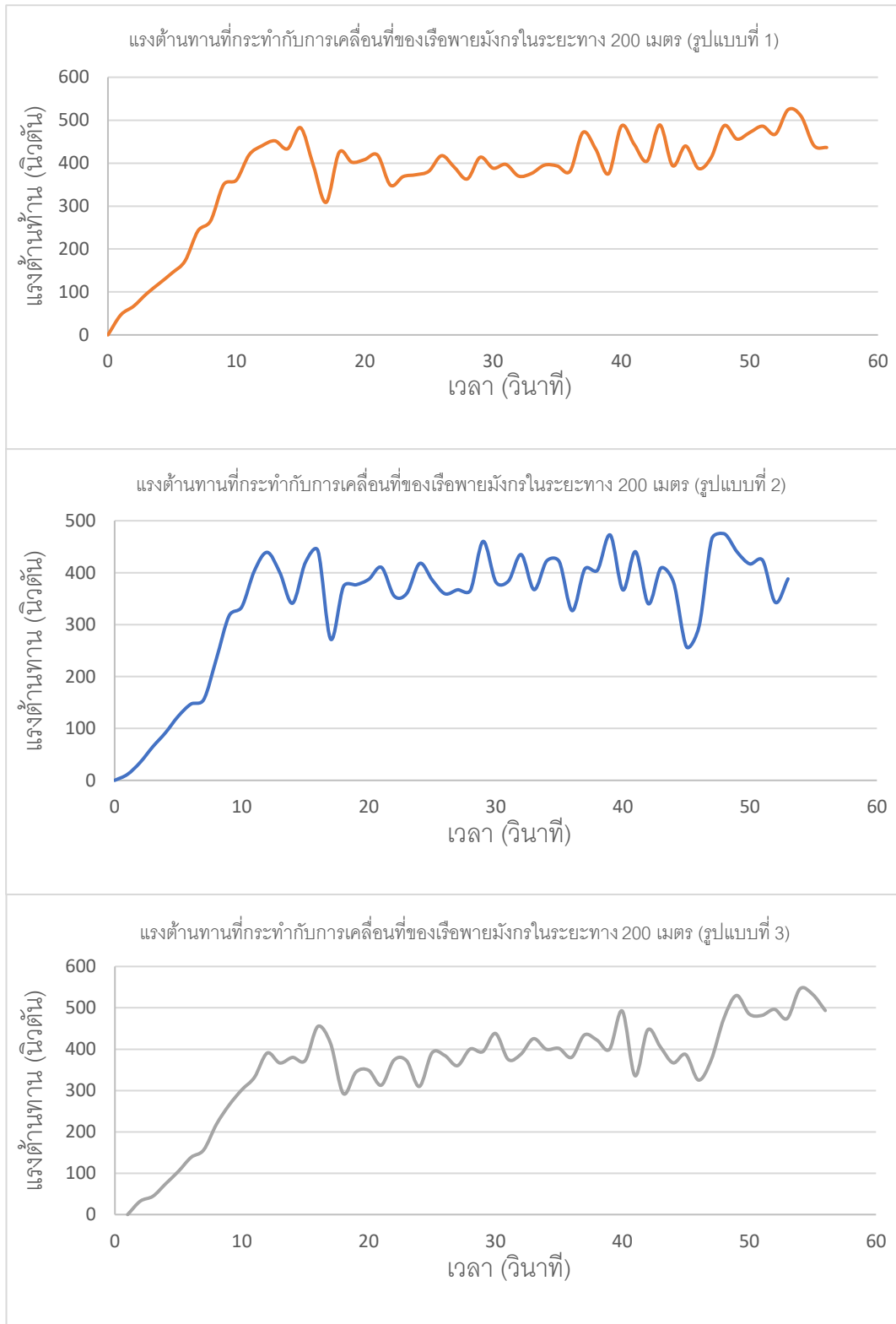
จากภาพประกอบ 52 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 41 วินาทีจนถึงสิ้นสุดการพาย รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายยังคงให้ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ อย่างชัดเจนในเวลาเท่ากัน แต่รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย มีค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมีมากขึ้น แรงยกมีค่าลดลง เป็นผลให้พื้นที่ผิวของเรือที่สัมผัสกับน้ำมีมากขึ้น แรงต้านทานน้ำจึงมากขึ้น ส่งผลให้ความเร็วในการพายลดลง

4.3 พฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร

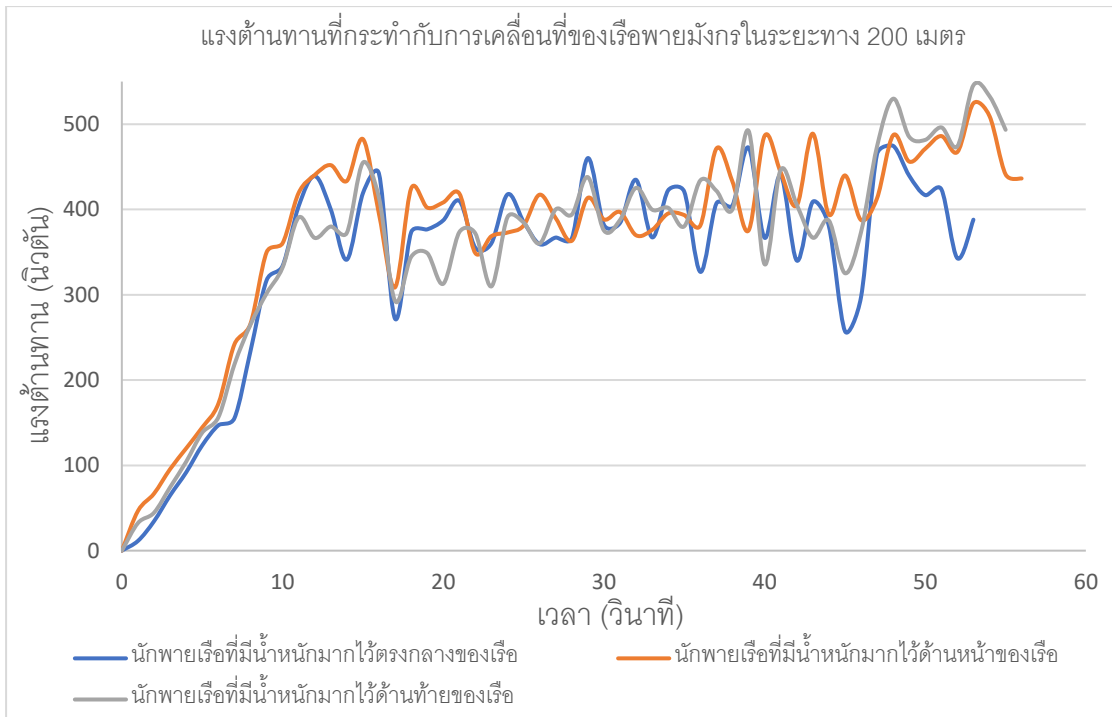
จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร ที่ส่งผลต่อความเร็วและเวลาในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรโดยใช้โปรแกรม Ansys Fluent มีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.3.1 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกรในระยะทาง 200 เมตร

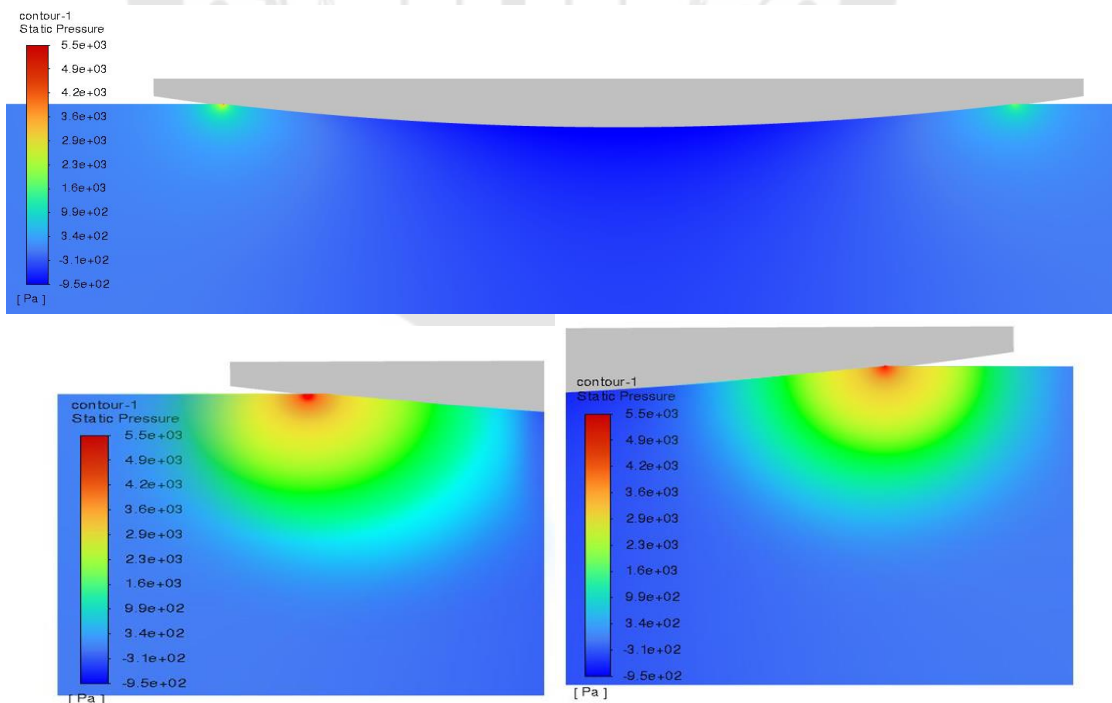
เมตร



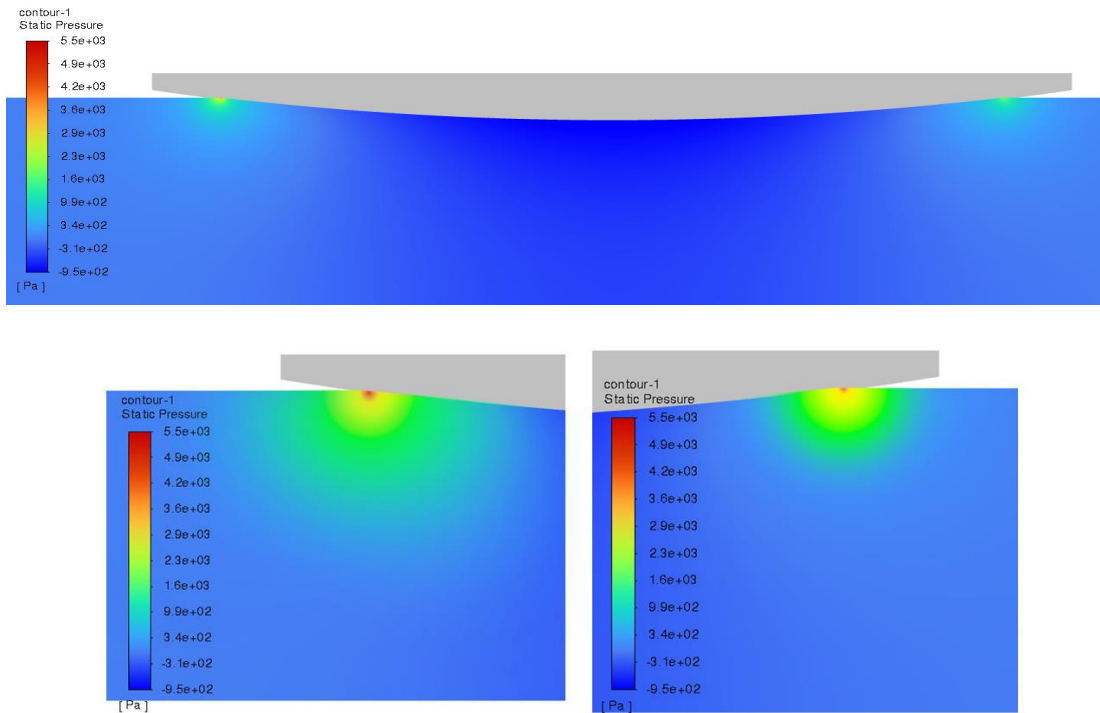
ภาพประกอบ 53 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกรทั้ง 3 รูปแบบ



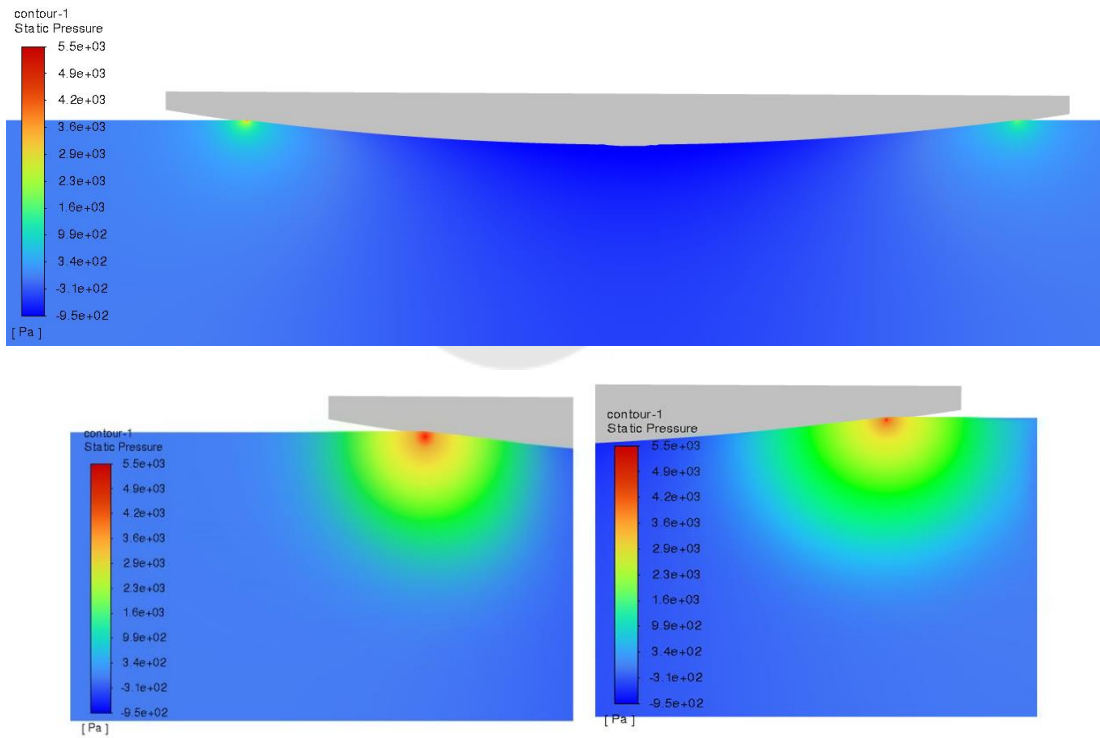
ภาพประกอบ 54 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในระยะทาง 200 เมตร



ภาพประกอบ 55 Contour แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรรูปแบบที่ 1



ภาพประกอบ 56 Contour แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรียวพายมั่งกรูปร่างแบบที่ 2

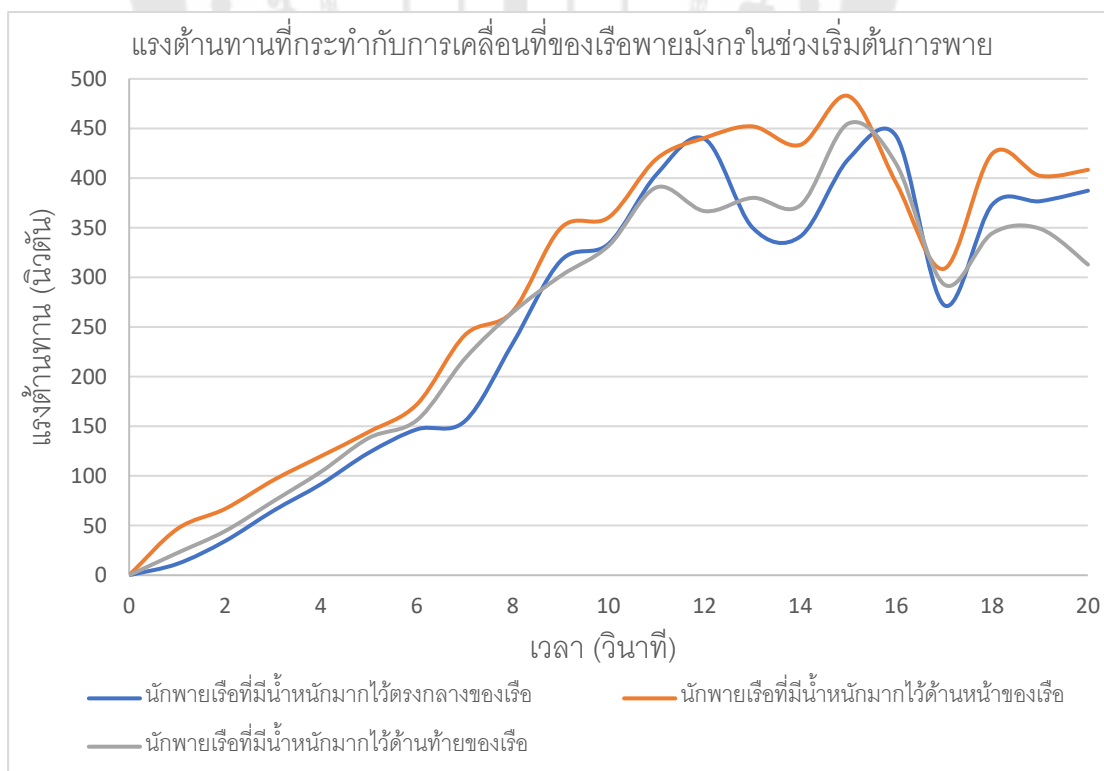


ภาพประกอบ 57 Contour แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรียวพายมั่งกรูปร่างแบบที่ 3

จากภาพประกอบ 53-57 แสดงค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรในระยะทาง 200 เมตร ทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้ รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย มีค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรเฉลี่ย เท่ากับ 372.357 N รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย มีค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรเฉลี่ยเท่ากับ 339.156 N และรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย มีค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรเฉลี่ยเท่ากับ 357.876 N จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย ให้ค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรเฉลี่ยดีที่สุด เนื่องจากในรูปร่างนี้มีกระจายตัวของน้ำหนักที่เหมาะสม ทำให้พื้นที่ผิวของเรือที่สัมผัสกับน้ำน้อย เป็นผลให้แรงต้านทานที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้จะสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่า แรงต้านทานตามพื้นผิว (Skin Drag) คิดเป็น 90% ของแรงต้านทั้งหมดสำหรับเรือที่มีความเร็วต่ำ (Dudhia, 2023; Elkafas et al., 2019; Greidanus et al., 2012; Greidanus et al., 2016)

4.3.1.1 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรในช่วงเริ่มต้น

การพาย

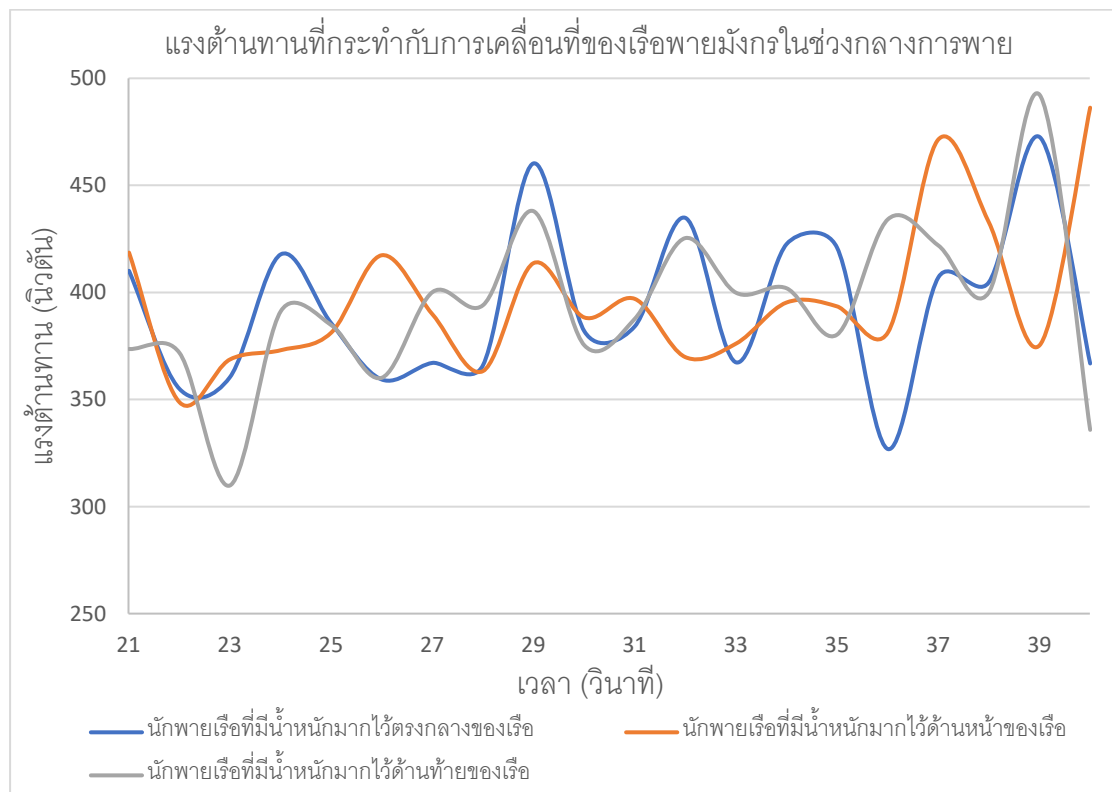


ภาพประกอบ 58 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพาย มังกรในช่วงเริ่มต้นการพาย

จากภาพประกอบ 58 แสดงค่าแรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงเริ่มต้นของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงที่เวลาที่ 0-20 วินาที จะเห็นว่าในช่วงเริ่มต้นของการพายเป็นช่วงที่เรือมีความเร็วต่ำ ทำให้แรงต้านทานในช่วงเริ่มต้นมีค่าน้อย ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการแรงต้านทานการเคลื่อนที่ คือเมื่อเรือมีความเร็วต่ำแรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่จะมีค่าน้อย

4.3.1.2 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงกลาง

การพาย

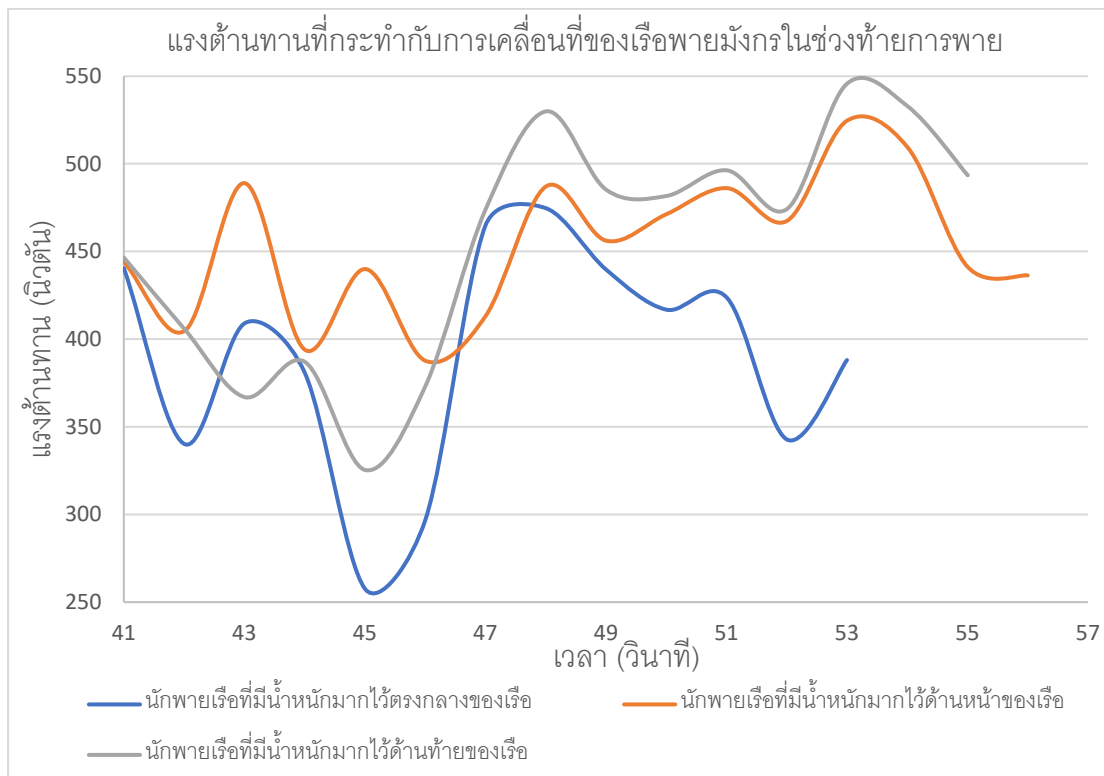


ภาพประกอบ 59 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงกลางการพาย

จากภาพประกอบ 59 แสดงค่าแรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงกลางของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 21-40 วินาที จะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วเรือมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้แรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรทั้ง 3 รูปแบบมีค่ามากขึ้น (Elkafas et al., 2019) เนื่องจากแรงต้านทานคือแรงของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือในทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ (Molland et al., 2011)

4.3.1.3 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้าย

การพาย



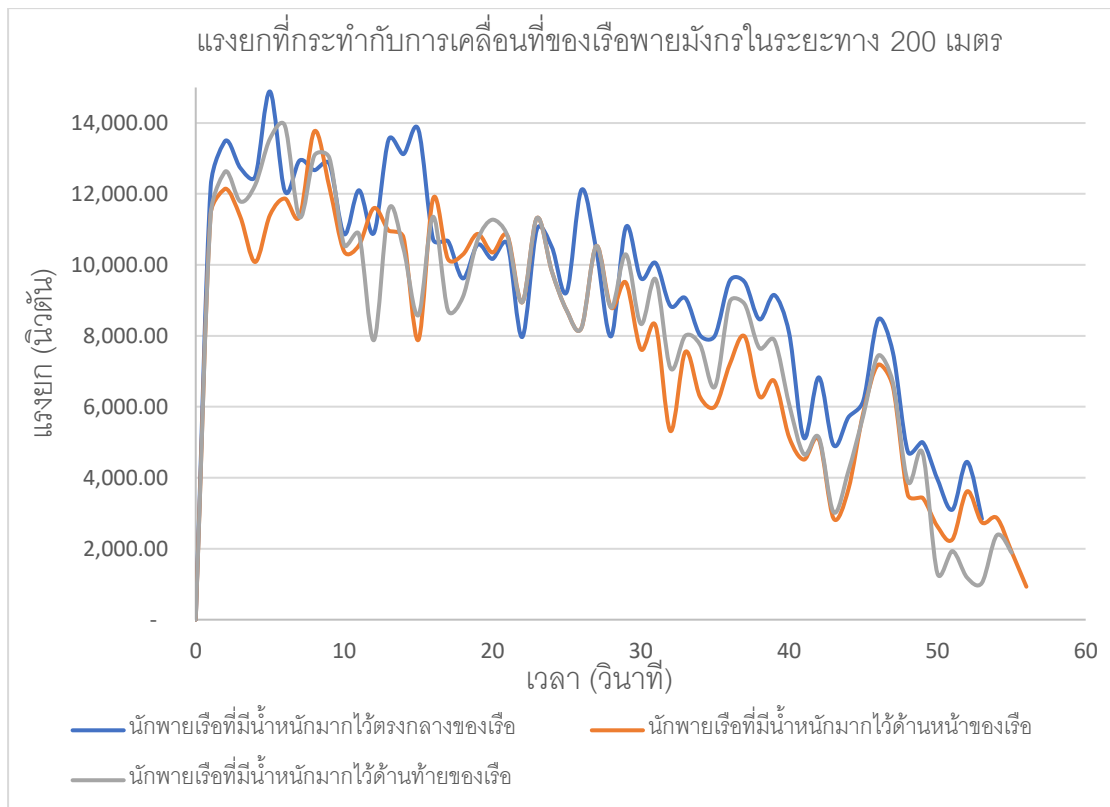
ภาพประกอบ 60 แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย

จากภาพประกอบ 60 แสดงค่าแรงต้านทานที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 41 วินาทีไปจนถึงสิ้นสุดการพาย จะเห็นว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย ให้ค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเฉลี่ยน้อยที่สุด แต่ในรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพายให้ค่าแรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากที่สุด เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปเรือมีความเร็วสูงขึ้น แรงแยกมีค่าลดลงทำให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสน้ำมีมากขึ้น ส่งผลให้แรงต้านในรูปแบบนี้มีค่ามากกว่ารูปแบบอื่น ๆ

4.3.2 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในระยะทาง 200 เมตร



ภาพประกอบ 61 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรทั้ง 3 รูปแบบ



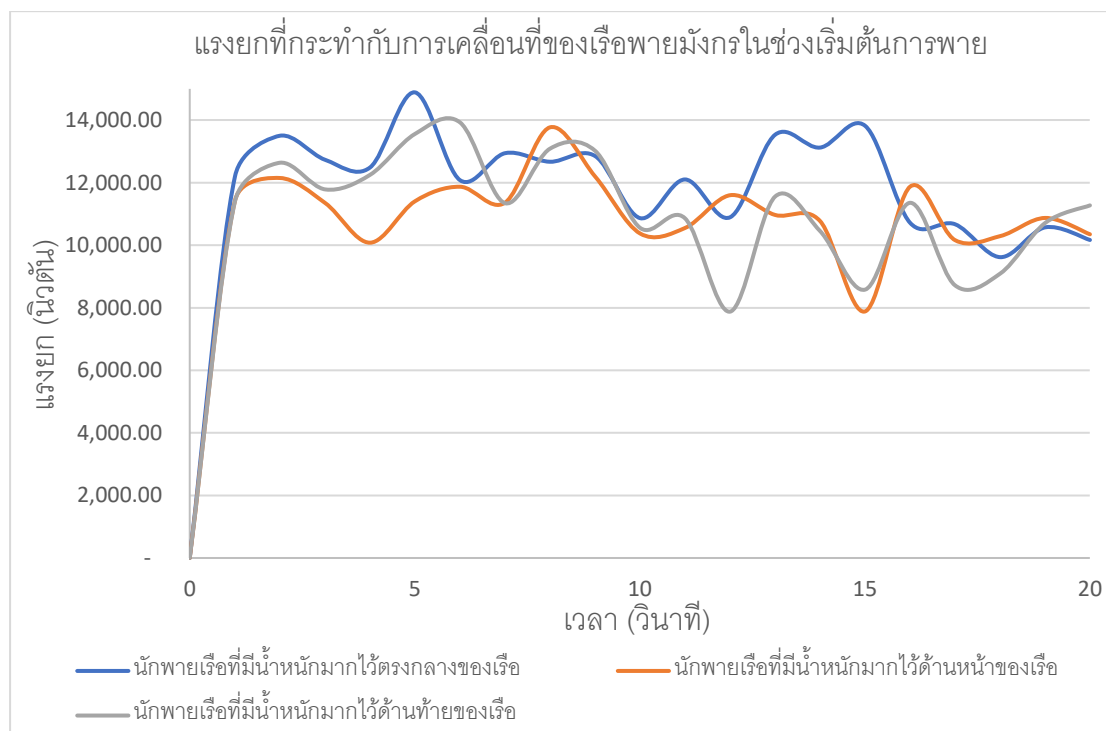
ภาพประกอบ 62 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตร

จากภาพประกอบ 61-62 แสดงค่าแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในระยะทาง 200 เมตรทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้ รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือพาย มีค่าแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเฉลี่ยเท่ากับ 7,754.71 N รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย มีค่าแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเฉลี่ยเท่ากับ 9,268.35 N และรูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหลังของเรือพาย มีค่าแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเฉลี่ยเท่ากับ 8,099.27 N จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรเฉลี่ยดีที่สุดในระยะทาง 200 เมตร เนื่องจากแรงยกคือแรงที่กระทำต่อพื้นที่ผิวและมุมปะทะของเรือพาย หากมีแรงยกที่มากกระทำกับเรือพายมาก จะส่งผลให้พื้นที่ผิวของเรือพายที่สัมผัสกับน้ำน้อยลงเป็นผลให้แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรลดลง (Suwasono et al., 2017) อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเกิดแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากขึ้น พื้นที่ผิวและมุมปะทะ

ของเรือพายจะสัมพันธ์กับอากาศมากขึ้น แต่เนื่องจากแรงต้านทานอากาศสำหรับกีฬาเรือพายมีค่าน้อยมาก (Kuyt et al., 2016) จึงทำให้ไม่ส่งผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกร

4.3.2.1 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงเริ่มต้นการ

พาย

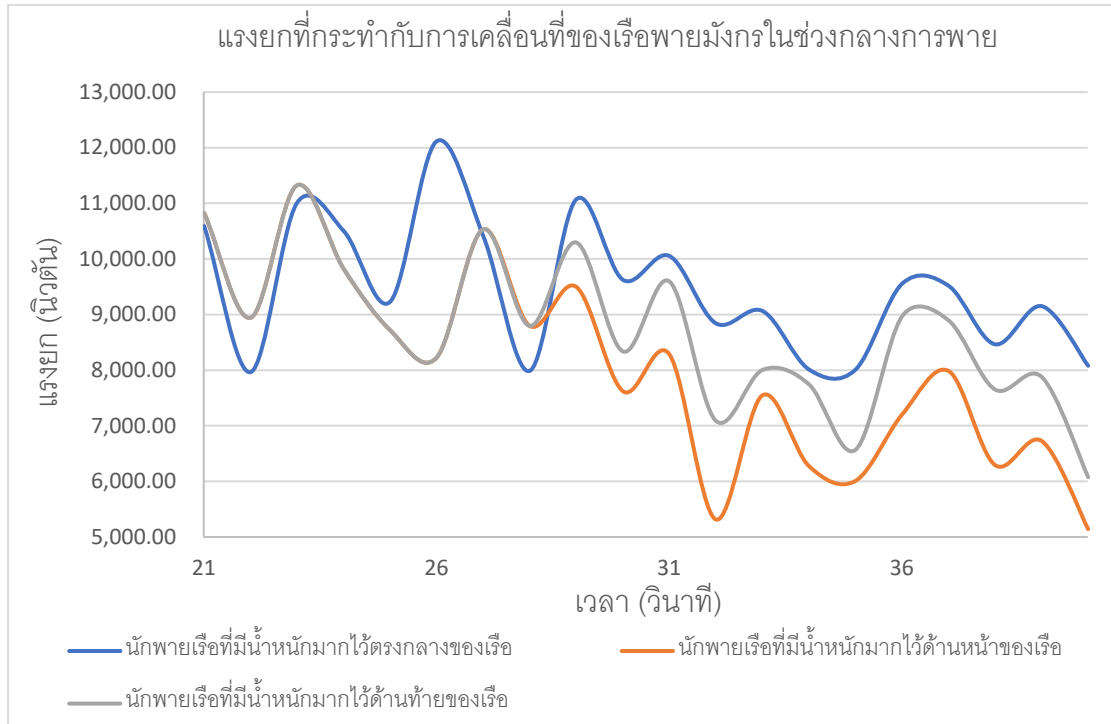


ภาพประกอบ 63 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงเริ่มต้นการพาย

จากภาพประกอบ 63 แสดงแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรในช่วงเริ่มต้นของการพาย ทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลา 0-20 วินาที จะพบว่าในช่วงเริ่มต้นการพายเป็นช่วงที่เรือมีความเร็วต่ำ ทำให้มีแรงยกที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรมีค่ามากในช่วงเริ่มต้น (McCauley, 2018)

4.3.2.2 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย

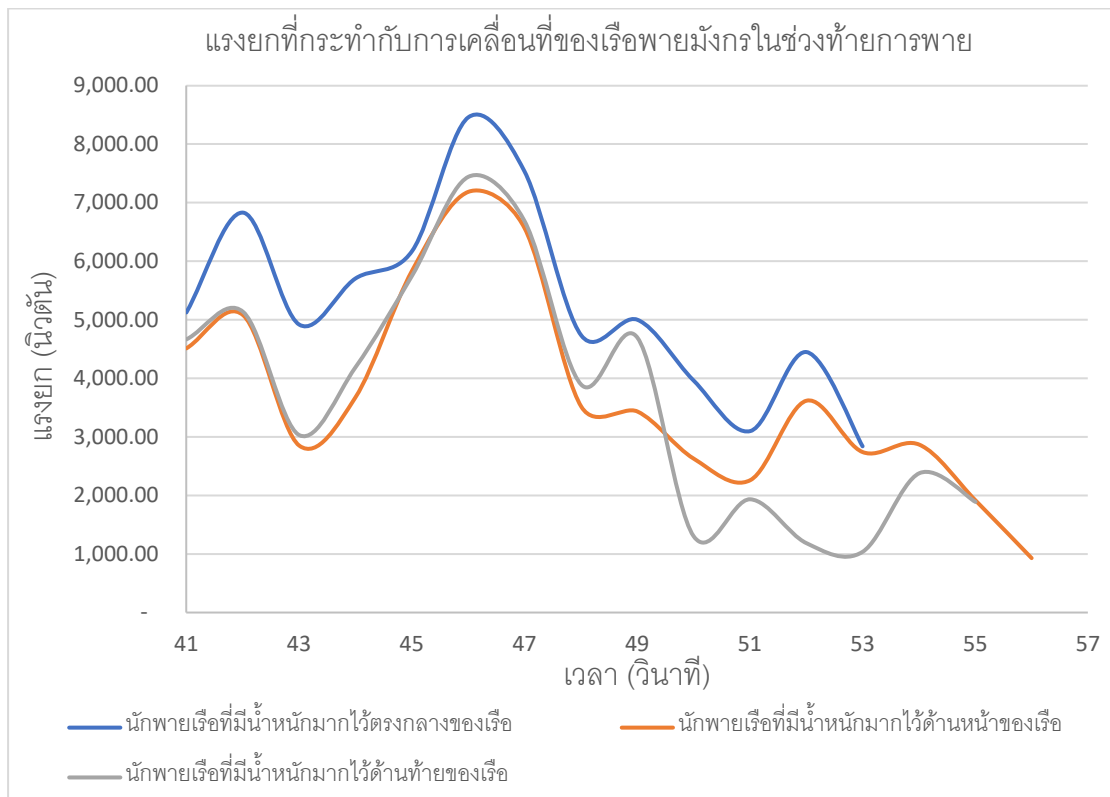
พาย



ภาพประกอบ 64 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงกลางการพาย

จากภาพประกอบ 64 แสดงแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายในช่วงกลางของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 21-40 วินาที จะพบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายเริ่มมีค่าลดลงทั้ง 3 รูปแบบ (McCauley, 2018)

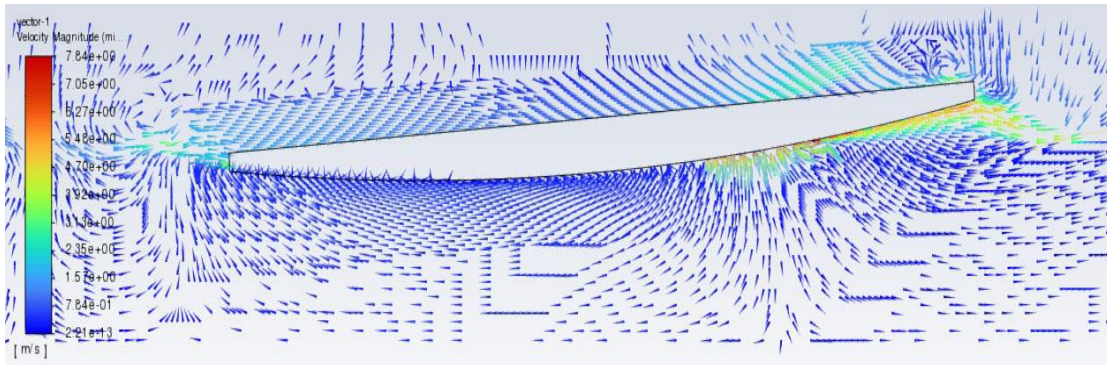
4.3.2.3 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย



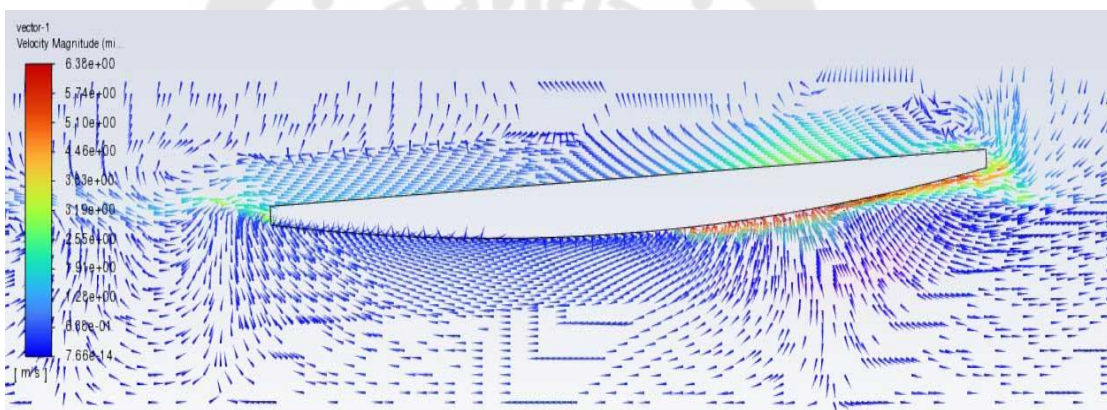
ภาพประกอบ 65 แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายการพาย

จากภาพประกอบ 65 แสดงแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรในช่วงท้ายของการพายทั้ง 3 รูปแบบ คือช่วงเวลาที่ 41 วินาที ไปจนถึงสิ้นสุดการพาย จะพบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าแรงยกที่มากกระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือมังกรมากที่สุด เนื่องจากการจัดตำแหน่งในรูปแบบนี้มีความสมดุลของมวลที่เหมาะสมกว่ารูปแบบอื่น ๆ (Suwasono et al., 2017)

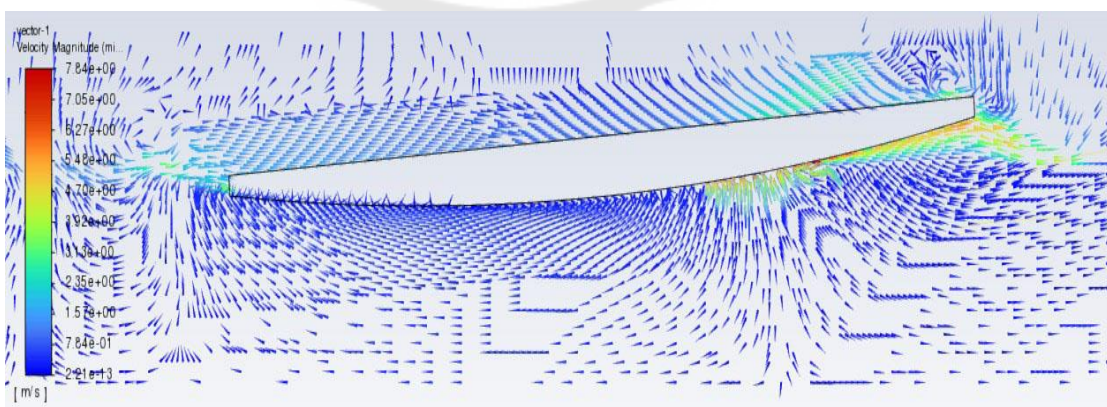
4.3.3 ความเร็วของของไหลที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมั่งกรใน ระยะทาง 200 เมตร ทั้ง 3 รูปแบบ



ภาพประกอบ 66 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายรูปแบบที่ 1



ภาพประกอบ 67 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายรูปแบบที่ 2



ภาพประกอบ 68 Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายรูปแบบที่ 3

จากภาพประกอบที่ 66-68 แสดง Vector ความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรใน 3 รูปแบบ จะพบว่ารูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพายให้ค่าความเร็วของของไหลที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากที่สุด เนื่องจากรูปแบบนี้มีค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมากที่สุด ซึ่งจะสอดคล้องกับทฤษฎีความเร็วของของไหล

4.4 รูปแบบการจัดตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือที่เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษาการเคลื่อนที่เรือพายมังกร 10 ฝีพาย ในระยะทาง 200 เมตร ให้ผลการวิเคราะห์โดยสรุป ดังนี้

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่เรือพายมังกร 10 ฝีพาย ในระยะทาง 200 เมตร

ผลการวิเคราะห์	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
เวลาในการเคลื่อนที่ (s)	56.00	53.00	55.01
ความเร็วในการเคลื่อนที่ (m/s)	3.628	3.817	3.727
แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ (N)	372.357	339.156	357.876
แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ (N)	7,754.71	9,268.35	8,099.27

จากตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร 10 ฝีพาย ในระยะทาง 200 เมตร พบว่าการจัดรูปแบบตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือที่เหมาะสมที่สุดคือ รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย เนื่องจากให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่าตำแหน่งน้ำหนักของนักพายเรือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร หากมีการจัดตำแหน่งน้ำหนักนักพายเรือให้มีความสมดุล จะทำให้มีแรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรมากที่สุด ส่งผลให้พื้นที่ผิวของเรือที่สัมผัสกับน้ำน้อย เป็นผลให้แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือมังกรลดลง (Elkafas et al., 2019) และทำให้ความเร็วในรูปแบบนี้มีค่ามากกว่ารูปแบบอื่น ในขณะที่ใช้เวลาในการพายน้อยที่สุดในระยะทาง 200 เมตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการหารูปแบบการจัดตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือมังกรประเภท 10 ฝีพาย ที่ทำให้เรือพายมีประสิทธิภาพในการแข่งขันสูงสุด ในระยะทาง 200 เมตร และทำการศึกษา ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วของเรือพายมังกร เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ สำหรับการพายเรือมังกรให้เร็วที่สุด จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 รูปแบบการจัดตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือที่ใช้เวลาในการพายน้อยที่สุด คือ การจัดตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย (รูปแบบที่ 2) โดยให้ค่า เวลาที่ใช้ในการพายดีกว่ารูปแบบอื่นประมาณ 1-3 วินาที เนื่องจากมีการกระจายตัวของน้ำหนัก พายเรือที่เหมาะสมที่สุด

5.1.2 แรงต้านทานเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของการพายเรือมังกร หากมีแรง ต้านทานที่มากกระทบต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายจำนวนมากจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของเรือพาย นั้นช้าลง จากการศึกษาวิจัยพบว่ารูปแบบการจัดวางตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือที่เหมาะสม ที่สุดคือการจัดตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย (รูปแบบที่ 2) โดยให้ค่าแรงต้านทานเฉลี่ยที่มากกระทบต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรน้อยที่สุด

5.1.3 แรงยกเป็นอีกแรงหนึ่งที่มีผลถึงประสิทธิภาพของการพายเรือมังกร เนื่องจากแรง ยกเป็นแรงที่กระทำต่อพื้นที่ผิวและมุมปะทะของผิวเรือ หากเกิดแรงยกที่มากกระทบต่อการเคลื่อนที่ ของเรือพายมากจะส่งผลให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำน้อยลงเป็นผลให้เกิดแรงต้านทานในน้ำน้อย ดังนั้นเรือพายก็จะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จากการศึกษาพบว่าการจัดรูปแบบการจัดตำแหน่งน้ำหนักรถ ที่เหมาะสมที่สุดคือการจัดตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือพาย (รูปแบบที่ 2)

5.1.4 งานวิจัยนี้กำหนดค่าแรงในการพายเรือ ในรูปแบบของกราฟ sine โดยเริ่มจาก 0 ไปจนถึงจุดสูงสุดของกราฟ (ค่าแรงสูงสุดของนักพายเรือ) แล้วค่อยๆ ทรอปลงมาต่อหนึ่งการพาย จากนั้นทำการวิเคราะห์ในการเคลื่อนที่ของเรือพาย 3 รูปแบบ จากการศึกษาพบว่า การจัดรูปแบบ ตำแหน่งน้ำหนักรถที่เหมาะสมที่สุดคือการจัดตำแหน่งน้ำหนักรถของนักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลาง ของเรือพาย (รูปแบบที่ 2) โดยให้ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายดีที่สุด อย่างไรก็ตาม

การวิเคราะห์ในรูปแบบนี้อาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่สมจริงมากนักเนื่องจากไม่พิจารณาถึงหลักทางสรีรวิทยา เช่น ความอ่อนล้าของร่างกายนักพายเรือ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ขยายขอบเขตการศึกษาการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกรใน 3 มิติ เพื่อให้ได้พฤติกรรมเคลื่อนที่ที่สมจริงยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร เช่น อัตราการพายเรือ เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องมากขึ้น

5.2.3 ควรคำนึงถึงหลักสรีรวิทยา เช่น พิจารณาความล้าของกล้ามเนื้อ เพราะการพายเรื่อนั้นมีช่วงที่นักพายเรือเกิดความล้าทำให้ค่าแรงที่นำมาพิจารณามีความคลาดเคลื่อน

5.2.4 ขยายขอบเขตการศึกษาระยะทางในการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ตามกติกาการแข่งขัน เช่น 500 เมตร 1,000 เมตร และ 2,000 เมตร เพื่อดูพฤติกรรมของของไหลที่มากกระทำต่อการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร

บรรณานุกรม

- Atkinson, B., & C, W. (2019). *Rowing Computer Research*. Retrieved from <http://www.atkinsopht.com/row/rowrpage.htm>
- Baudouin, A., Hawkins, D., & Seiler, S. (2002). A biomechanical review of factors affecting rowing performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36(6), 396-402.
- Bello, F. D., Brito, C., Miarka, B., & Vecchio, F. D. (2018). Biomechanics of rowing: kinematic, kinetic and electromyographic aspects. *Journal of Physical Education and Sport*, 2018(01). <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.01025>
- Bernfield, J. S. (1977). *Effect of Stroke Rate on the Velocity/Time Curve of a Rowing Shell* Master's thesis. Retrieved from https://digitalcommons.brockport.edu/pes_theses
- Boat, R. E. D. (2023). *Beginning Paddle Techniques & Tips*. Retrieved from
- Celentano, F., Cortili, G., Prampero, P. E. D., & Cerretelli, P. (1974). Mechanical aspects of rowing. *Journal of Applied Physiology*, 36(6), 642-647.
- Dudhia, A. (2008). *Effect of Weight in Rowing*. Retrieved from <http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/weight.html>
- Dudhia, A. (2023). *Physics of Rowing*. Retrieved from <http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/index>.
- Elkafas, A. G., Elgohary, M. M., & Zeid, A. E. (2019). Numerical study on the hydrodynamic drag force of a container ship model. *Alexandria Engineering Journal*, 58(3), 849-859. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.07.004>
- Formaggia, L., Miglio, E., Mola, A., & Montano, A. (2009). A model for the dynamics of rowing boats. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 61(2), 119-143. <https://doi.org/10.1002/flid.1940>
- Giraldo-Pérez, E., Betancur, E., & Osorio-Gómez, G. (2022). Experimental and statistical analysis of the hydrodynamic performance of planing boats: A Comparative study. *Ocean Engineering*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112227>
- Gomory, J., Ball, K., & Stokes, R. (2011). A system to measure the kinematics, kinetics and

- effort of dragon boat paddling. *Procedia Engineering*, 13, 457-463.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.05.114>
- Greidanus, A., Delfos, R., & Westerweel, J. (2012). Rowing faster by surface treatment. *Procedia Engineering*, 34, 361-366. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.062>
- Greidanus, A. J., Delfos, R., & Westerweel, J. (2016). Drag and Power-loss in Rowing Due to Velocity Fluctuations. *Procedia Engineering*, 147, 317-323.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.299>
- Hartmann, U., Mader, A., Wasser, K., & Klauer, I. (1993). Peak force, velocity and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. *Affiliations expand*. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021224>
- Ho, S. R., Smith, R. M., & O'Meara, D. (2008). Biomechanical analysis of dragon boat paddling: A comparison of elite and sub-elite paddlers. *Journal of Sports Sciences*, 27(1), 37-47. <https://doi.org/10.1080/02640410802491350>
- Hoerner, D.-I. S. F. (1965). *Fluid-dynamic drag*. Retrieved from https://ia600707.us.archive.org/13/items/FluidDynamicDragHoerner1965/Fluid-dynamic_drag_Hoerner_1965_text.pdf
- Hofmijster, M. J., Landman, E. H., Smith, R. M., & Van Soest, A. J. (2007). Effect of stroke rate on the distribution of net mechanical power in rowing. *J Sports Sci*, 25(4), 403-411. <https://doi.org/10.1080/02640410600718046>
- Holst, M. V. (2004). *Simulation of Rowing*. Retrieved from <http://home.hccnet.nl/m.holst/report.html>
- IDBF. (2013). *Manufacturers' Licencing Schemes for Racing Dragon Boats and Recing Paddles*. Retrieved from
- IDBF. (2016). *International Dragon Boat Events*. Retrieved from <https://www.dragonboat.sport/idbf-championships-ccwc-wdbrc>
- Karmanov, S., & Chernousko, F. L. (2015). Simple Modelling of the Rowing Process. *IFAC-PapersOnLine*, 48(1), 829-833. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.038>
- Kuyt, C. B., Greidanus, A. J., & Westerweel, J. (2016). Drag Reduction by Applying Speedstrips on Rowing Oars. *Procedia Engineering*, 147, 110-115.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.198>

Marcolin, G., Lentola, A., Paoli, A., & Petrone, N. (2015). Rowing on a Boat Versus Rowing on an Ergo-meter: A Biomechanical and Electromyographycal Preliminary Study.

Procedia Engineering, 112, 461-466. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.225>

McCauley, J. L. (2018). *Hydrodynamic Lift on Boats*. Retrieved from

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1808/1808.03313.pdf>

Menter, F. (1994). Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Emgineering Application. *AIAA Journal*, 32, 1598-1605.

Mola, A., Miglio, E., & Formaggia, L. (2006). Simulation of the Dynamics of an Olympic Rowing Boat. *European Conference on Computational Fluid Dynamics*, 1-9.

Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/255630684>

Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). Ship Resistance and Propulsion. In *Practical Estimation of Propulsive Power*. Cambridge University Press.

Pettersson, R., Nordmark, A., & Eriksson, A. (2013). Simulation of rowing in an optimization context. *Multibody Syst Dyn*. <https://doi.org/10.1007/s11044-013-9384-5>

PPTV. (2561). “เรือยาวมังกร” กีฬากระดับตำนานของจีน ในเอเชียนเกมส์ 2018. สืบค้นจาก

<https://www.pptvhd36.com/sport/news/88413>

Pulman, C. (2012). *The Physics of Rowing.pdf*. Retrieved from

<http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/rowing.pdf>

Robert, Y., Leroyer, A., Barré, S., Rongère, F., Queutey, P., & Visonneau, M. (2014). Fluid Mechanics in Rowing: The Case of the Flow Around the Blades. *Procedia Engineering*, 72, 744-749. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.126>

Sawade, C., Turnock, S., Forrester, A., & Toward, M. (2012). Improved rehabilitation and training techniques through the use of motion simulation – Core strength conditioning for elite rowers. *Procedia Engineering*, 34, 646-651.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.110>

Senator, M. (1981). Why Sliding Seats and Short Stroke Intervals are Used for Racing Shells. *J Biomech Eng*, 103(3), 151-159. <https://doi.org/10.1115/1.3138271>

Seo, M.-G., Kim, Y., & Park, D.-M. (2017). Effect of internal sloshing on added resistance of

ship. *Journal of Hydrodynamics*, 29(1), 13-26. [https://doi.org/10.1016/s1001-6058\(16\)60713-8](https://doi.org/10.1016/s1001-6058(16)60713-8)

Sliasas, A., & Tullis, S. (2010). A hydrodynamics-based model of a rowing stroke simulating effects of drag and lift on oar blade efficiency for various cant angles. *Procedia Engineering*, 2(2), 2857-2862.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.078>

Suwasono, B., Akbar, H. M. A., Sahir, A., & Munazid, A. (2017). Outrigger RC Boat Model Hull Development as A High Speed Craft Based on Resistance and Lift Force.

Procedia Engineering, 194, 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.135>

WN, N., & CJ, W. (1983). Kinematic analysis and efficiency estimate of intercollegiate female rowers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6), 535-541.

Wychowanski, M., Slugocki, G., Orzechowski, G., Staniak, Z., & Radomsko, D. (2018).

Results of Single Sculling Technique Analysis Using 1D Mathematical Model. *IFAC-PapersOnLine*, 51(2), 879-883.

ราชนาวี, พ. (2550). ปัจจัยการพายเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการพายเรือกรรเชียง [ปริญญานิพนธ์
ปริญญาคุษฎีบัณฑิต,

สมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย. (2561). ประเภทกีฬา. สืบค้นจาก <https://www.rcat.or.th/>



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ระเบียบและกติกาการแข่งขันของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ ฉบับที่ 6



ก.1 ตำนานและประเพณีเทศกาลเรือมังกร

เทศกาลเรือมังกร หรือ Tuen Ng เป็นเทศกาลที่จัดขึ้นเพื่อระลึกถึงความกล้าหาญและโศกนาฏกรรมที่เกิดขึ้นในจีนยุคโบราณเมื่อกว่าสองพันปี ผู้ปกครองแคว้นฉู่ปกครองอย่างฉ้อฉล ทำให้ขุนนางอย่าง “ฉู่หยวน” ที่เป็นทั้งรัฐบุรุษ นักรบ และกวี ถูกใส่ร้ายและถูกประหารชีวิตด้วยความสิ้นหวังและอาจจะเพื่อแสดงความท้าทายเป็นครั้งสุดท้ายเป็นครั้งสุดท้ายต่อเจ้าผู้ครองแคว้น เขาจึงกระโดดแม่น้ำมีฉู่เพื่อฆ่าตัวตาย แต่ประชาชนชาวจีนไม่เคยลืมความกล้าหาญของเขา และชาวประมงก็พากันนำเรือของตนออกตามหาศพของเขาก่อนที่ปลาจะรุมกิน โดยมีการตีกลองและขว้างก้อนบ๊ะจ่างลงไปแม่น้ำเพื่อล่อให้ปลาไม่สนใจศพของเขา จากนั้นจึงกลายเป็นประเพณีที่ยังคงสืบทอดมาจนถึงทุกวันนี้

โดยวันที่ห้าเดือนห้าของทุกปีตามปฏิทินจีนทศคติ บรรดาผีพายจะแห่กันมาช่วยฉู่หยวนโดยใช้เรือยาวที่มีหัวมังกรดูขึงขึงน่ากลัว ใช้พายจ้วงน้ำไปตามจังหวัดอันคึกคักของกลอง ไม่มีใครรู้ว่าการทำหัวเรือให้เป็นเช่นนี้มีมาตั้งแต่เมื่อไหร่ แต่เชื่อว่าทำเช่นนี้มานานแล้วเพื่อขับไล่วิญญาณชั่วร้ายในน้ำให้หนีไป บางทีอาจทำขึ้นเพราะความเชื่อที่ว่า วันที่ห้าเดือนห้าซึ่งเป็นกลางไม่ดี และเรือมังกรก็อาจจะขับไล่ความชั่วร้ายออกไปได้ และจะช่วยคุ้มครองผู้คนให้มีสุขภาพดีและผลผลิตที่จะได้ในปีนั้นก็ดีขึ้น (IDBF, 2013)

ก.2 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 1 ระเบียบทั่วไป

ก.2.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 1.1 ระยะเวลา

ระเบียบฉบับนี้ออกแบบมาเพื่อให้แน่ใจว่า การแข่งได้มีขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ให้การแข่งขันเป็นไปอย่างยุติธรรมและปลอดภัย

สหพันธ์เรือมังกรนานาชาติจะรับรองการแข่งขันเรือมังกรที่สามารถจัดได้โดยมีระยะเวลาตั้งแต่ 200 เมตรขึ้นไปและในสนามแข่งแบบต่างๆ เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ บริเวณอ่าว และทะเล ตามกฎและระเบียบที่แตกต่างกันไประเบียบการแข่งขันดังต่อไปนี้ในเบื้องต้นมีไว้สำหรับการแข่งขันเรือรีกัตต้าเวิลด์แชมเปียนชิพของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติที่โดยปกติแล้วจัดในน้ำไหลนิ่ง ในการสร้างลู่อูสำหรับแข่งเรือรีกัตต้าเวิลด์แชมเปียนชิพเพื่อให้มีสิ่งกีดขวางนั้น ให้เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะที่มีในระเบียบการแข่งขันฉบับนี้และเป็นไปตามสภาพการแข่งขันในช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิปานกลาง

การแข่งขันชิงแชมป์เวิลด์แชมเปียนชิพของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติโดยมีข้อยกเว้นได้เป็นครั้งเป็นคราวที่ลู่อูแข่งเรือรีกัตต้าที่ผ่านการรับรองซึ่งตั้งอยู่ในแหล่งน้ำที่มีพื้นดินล้อมรอบในพื้นที่เปิด เช่น ทะเลสาบและอ่างน้ำ บริเวณอ่าวที่มีสิ่งกีดขวาง หรือในแม่น้ำที่น้ำไหลนิ่ง (IDBF, 2013)

ก.2.2 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 1.3 การแข่งขันเรือรีกัตต้าชิงแชมป์เยาวชนชิงของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ

การแข่งขันเรือรีกัตต้าชิงแชมป์เยาวชนชิงของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติอาจจัดปีละครั้ง ณ สถานที่และเวลาที่ได้รับการตัดสินใจจากสมาชิกรัฐสภาสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติและเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ ระเบียบการแข่งขันของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ และกติกาการแข่งขัน

การแข่งขันเรือรีกัตต้าชิงแชมป์เยาวชนชิงของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติต้องจัดขึ้นเป็นระยะเวลาอย่างต่ำ 2 วันติดต่อกัน โดยมีระยะเวลาการแข่งขันชิงแชมป์เยาวชนชิงอย่างน้อยในประเภท 200 เมตร และ 500 เมตร การแข่งขันชิงแชมป์เยาวชนชิงที่มีระยะทาง 1,000 เมตร และ 2,000 เมตร อาจจัดขึ้นได้ และให้ระยะเวลาแข่งที่ 250 เมตร แทนระยะทาง 200 เมตรได้ (IDBF, 2013)

ก.3 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2 ประเภทการแข่งขันและการแข่งขันตีวีชั่นของการแข่งขันชิงแชมป์เยาวชนชิง

ก.3.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1 ประเภทการแข่งขัน

สำหรับการแข่งขันชิงแชมป์เยาวชนชิงของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติหรือการแข่งขันที่ได้รับอนุญาตทั้งหมด การแข่งอาจจัดขึ้นตามประเภทการแข่งขันดังต่อไปนี้ โดยแบ่งตามอายุและเพศ

ก.3.1.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.1 ประเภทโอเพ่น-เป็นประเภทพื้นฐานของการแข่ง ไม่มีข้อจำกัดในเรื่ององค์ประกอบของคณะลูกเรือ หรืออายุยกเว้นว่า ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุต่ำกว่า 12 ปี ต้องมีบิดามารดา หรือผู้ใหญ่ผู้รับผิดชอบที่ได้รับการแต่งตั้งอยู่ร่วมในเรือด้วย และต้องสวมอุปกรณ์ช่วยในการลอยตัวเฉพาะบุคคล

ก.3.1.2 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.2 ประเภทหญิง-ในการแข่งประเภทหญิง คณะลูกเรือต้องเป็นหญิงทั้งหมด และจะมีอายุเท่าใดก็ได้ ยกเว้นผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 12 ปี ให้นำระเบียบข้อ 2.1.1 มาใช้ ในตีวีชั่นสำหรับผู้รอดชีวิตจากโรคมะเร็งเต้านม ลูกเรืออาจจะแข่งร่วมกับสมาชิกลูกเรือผู้รอดชีวิตจากโรคมะเร็งเต้านมที่เป็นผู้ชายได้

ก.3.1.3 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.3 ประเภทผสม-คณะลูกเรือต้องมีฝีพายอย่างน้อย 8 คน และไม่เกิน 12 คน ไม่มีข้อจำกัดด้านอายุ ยกเว้นผู้ที่มีอายุ 12 ปี ตามที่ระบุไว้ในระเบียบข้อ 2.1.1 สำหรับการแข่งเรือเล็ก จะต้องเป็นผู้หญิง 4 ถึง 6 คน

ก.3.1.4 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.4 ประเภทรุ่นเยาว์-การแข่งขันอาจจัดให้สำหรับคนละลูกเรือประเภทเพศเดียวหรือเพศผสมหรือในการแข่งขันแบบโอเพ่นตามที่แสดงไว้ข้างต้น ยกเว้นคนถือท้ายเรือ ประเภทอายุต่อไปนี้ ณ วันที่ 1 มกราคม จนถึงปี 2555 และจากปี 2556 เป็นต้นมา ณ วันที่ 1 มิถุนายน(สิงหาคม 2554)ให้นำมาใช้กับประเภทรุ่นเยาว์

รุ่นเยาว์ A ผู้เข้าแข่งขันที่อายุต่ำกว่า 18 ปี แต่ไม่น้อยกว่า 12 ปี

รุ่นเยาว์ B ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุต่ำกว่า 16 ปี แต่ไม่น้อยกว่า 12 ปี

รุ่นเยาว์ C ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุต่ำกว่า 14 ปี แต่ไม่น้อยกว่า 12 ปี

หมายเหตุ หมายความว่าในปี 2555 ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุ 18 ปี 16 หรือ 14 ปี ณ วันที่ หรือหลังจากนี้ที่ 1 มกราคม สามารถเข้าแข่งขันในประเภท 17 ปี 15 หรือ 13 ปีได้ตามลำดับ

ก.3.1.5 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.5 ประเภทรุ่นอาวุโส-การแข่งขันอาจจัดให้สำหรับคนละลูกเรือประเภทเพศเดียวหรือเพศผสมหรือในการแข่งขันแบบโอเพ่นตามที่แสดงไว้ข้างต้น ยกเว้นคนตีกลอง ผู้เข้าแข่งขันทั้งหมดต้องมีอายุ 40 ปี หรือมากกว่านั้น ณ วันที่ 1 มิถุนายน ในปีนั้น ๆ ประเภทการแข่งขันรุ่นอาวุโส คือ

รุ่นอาวุโส A ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุ 39 ปี

รุ่นอาวุโส B (แกรนด์ดรากร้อน หรือ Grand Dragons) ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุเกิน 49 ปี แต่ไม่เกินอายุ 60 ปี

รุ่นอาวุโส C (เกรทแกรนด์ดรากร้อน หรือ Great Grand Dragons) ผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุเกิน 59 ปี แต่ไม่เกิน 70 ปี

ก.3.1.6 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.6 การแข่งขันอาจจัดให้สำหรับคนละลูกเรือประเภทเพศเดียวหรือผสมหรือในการแข่งขันแบบโอเพ่นตามที่แสดงไว้ข้างต้น สำหรับผู้เข้าแข่งขันที่มีอายุ 18 ปี ถึง 23 ปี ณ วันที่ 1 มิถุนายน ในปีนั้นๆ

ผู้แข่งขันจำนวนถึง 4 คน ในการแข่งขันเรือมาตรฐาน และ 2 คน ในการแข่งขันเรือเล็ก อาจมีอายุ 16 ปีได้แต่ต้องไม่ถึง 18 ปี และ 2 คนและ 1 คน มีอายุเกิน 23 ปี แต่ไม่เกิน 26 ปี ณ วันที่ 1 มิถุนายน (สิงหาคม 2554) หมายเหตุ ตามคำจำกัดความ คนตีกลองและคนถือท้ายเรือถือว่าเป็น “ผู้แข่ง”

ก.3.1.7 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 2.1.7 ชนิดกลุ่มอายุเพิ่มเติม สำหรับประเภทรุ่นเยาว์และอาวุโส (ยกตัวอย่างเช่น รุ่นอาวุโส D อายุเกิน 70 ปี) อาจเพิ่มเข้ามาและ

นำมาใช้ในการแข่งขันเรือรีกัตตาเวิลด์แชมเปียนชิพ เมื่อสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติตัดสินใจให้เป็นเช่นนั้น (IDBF, 2013)

ก.4 ระเบียบการแข่งขัน 3 องค์ประกอบของคณะลูกเรือและทีม

ก.4.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 3.1 จำนวนของลูกเรือ คณะลูกเรือมังกรที่เข้าแข่งขันในการแข่งขันเวิลด์แชมเปียนชิพและระดับทวีปโดยปกติแล้วจะประกอบด้วย

a. สำหรับเรือที่ใช้แข่งมาตรฐาน (DB22) ในการแข่งขัน จำนวนฝีพายอย่างต่ำ 18 คน และสูงสุด 20 คน คนถือท้ายเรือ 1 คน และคนตีกลอง 1 คน โดยมีผู้แข่งรวมอย่างต่ำ 20 คน และสูงสุด 22 คน ในเรือที่ใช้แข่งขัน ณ ขณะการแข่งขัน และอาจเสนอชื่อฝีพายสำรองได้ถึง 4 คน สำหรับคณะลูกเรือหนึ่งคณะ สำหรับการแข่งขันชิงแชมป์อื่น ๆ เรือมาตรฐานอาจลดจำนวนฝีพายลงเหลือจำนวนน้อยที่สุด 16 คน โดยผู้เข้าร่วมต่ำสุด 18 คน ในคณะลูกเรือที่เข้าแข่งขัน

b. สำหรับเรือแข่งขนาดเล็ก (DB12) ลูกเรือต้องประกอบด้วยฝีพาย 10 คน และสำรองที่ได้รับการเสนอชื่อ 2 คน รวมกับคนตีกลองหนึ่งคนและคนถือท้ายเรือหนึ่งคนสำหรับคนแข่ง 14 คน ในคณะลูกเรือหนึ่งคณะ (สิงหาคม 2553) จำนวนอาจแตกต่างกันไปจากนี้ได้แต่ต้องได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการบริหารสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ (IDBF, 2013)

ก.5 ระเบียบการแข่งขันข้อ 5 เรือมังกร เรือตามประเพณี และอุปกรณ์

ก.5.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.1 รูปแบบตามประเพณี

สหพันธ์เรือมังกรนานาชาติซึ่งรับรองรูปแบบของเรือมังกรและไม้พายรูปแบบต่างๆ ตลอดจนรูปแบบอื่นๆ ของเรือยาวตามประเพณี (Traditional Boats-TLB) และแพลอยน้ำที่ใช้ไม้พายตามประเพณี (Traditionnal Paddled Water Craft-TPWC) อื่นๆ ที่มีในทวีปเอเชีย แอฟริกา โอเชียเนีย และอเมริกาใต้ ซึ่งได้รับการรับรองให้มีการใช้ TLB และ TPWC โดยทั่วไปโดยสมาชิกของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ

สำหรับการแข่งระดับนานาชาติที่สหพันธ์เรือมังกรนานาชาติอนุญาต สหพันธ์เรือมังกรนานาชาติอนุมัติให้ใช้เรือมังกรและไม้พายแบบใบเดี่ยวซึ่งใช้ทั่วไปในสาธารณรัฐประชาชนจีน (CTWDB) ไชนีสไทเป ฮองกง (HKTWDB) และมาเก๊า และ TLB&TPWC แบบอื่นๆ ที่ใช้เป็นปกติทั่วไปในประเทศสมาชิกสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ และแบบที่ได้รับอิทธิพลมาจากแบบเหล่านี้ที่ผ่านการอนุมัติจากสมาชิกสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติในประเทศที่เกี่ยวข้องหรือโดยสภาสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ (IDBF, 2013)

ก.5.2 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.2 แบบที่ได้รับอนุมัติให้ใช้ในการแข่งเรือ รีกัตต้าชิงแชมป์เอเชีย

ขณะที่สหพันธ์เรือมังกรนานาชาติรับรองว่าเรือมังกรตามประเพณี เรือยาว และ แพลลย่น้ำชนิดใช้ไม้พายทุกๆแบบอาจได้รับอนุญาตให้ใช้ในการแข่งขันได้ สหพันธ์เรือมังกรนานาชาติจะอนุมัติเฉพาะเรือมังกรตามข้อกำหนดเฉพาะของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติให้ใช้ในการแข่งเรือรีกัตต้าชิงแชมป์เอเชียเท่านั้น

ก.5.2.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.2.1 ข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะในการต่อเรือของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ (IDBF Specs) ประกอบด้วยคู่มือด้านเทคนิคและแบบร่างของเรือมังกรที่ใช้แข่งและไม้พายที่ได้รับอนุมัติให้เข้าร่วมการแข่งขันเรือรีกัตต้าชิงแชมป์เอเชียของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติแนบไว้กับข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะได้นำมาตีพิมพ์โดยสำนักเลขานุการด้านอุปกรณ์เทคนิคของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ (Technical Equipment Secretariat-TES) คุณลักษณะเฉพาะของเรือและไม้พายของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติอาจถูกกำหนดโดยจำนวนลูกเรือ เช่น แบบ 1222 หรือ 912 (IDBF, 2013)

ก.5.3 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.3 ข้อยกเว้น ยกเว้นในบางสถานการณ์

คณะกรรมการบริหารของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติมีอำนาจในการอนุญาตให้ใช้เรือมังกรตามประเพณีและไม้พายแบบอื่น ๆ ในการแข่งขันเวิลด์ แชมป์เอเชีย หากการกระทำเช่นนั้นเป็นไปเพื่อประโยชน์สูงสุดของการกีฬาดังกล่าว

ก.5.3.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.3.1 แบบที่แตกต่างกันของเรือมังกรและไม้พายที่ได้รับอนุมัติ จะไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าแข่งในประเภทการแข่งขันแบบเดียวกัน แบบอื่น ๆ ของ TLBs และแพลลย่น้ำแบบใช้ไม้พาย (TPWC) ที่ขับเคลื่อนด้วยไม้พายใบเดี่ยว อาจให้ร่วมในการแข่งเรือรีกัตต้าเวิลด์แชมป์เอเชียได้โดยอยู่ในดุลยพินิจของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ (IDBF, 2013)

ก.5.4 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.6 วิธีการขับเคลื่อน

เรือมังกรต้องขับเคลื่อนด้วยการใช้ไม้พายใบเดียวเท่านั้น ไม้พายต้องไม่ตรึงกับตัวเรือไม่ว่าจะโดยวิธีการใด ยกเว้นไม้พายที่คนถือพายเรือใช้ เนื่องจากลักษณะของหางเสือ จึงอาจใช้โครงเรือรองรับได้ แต่ไม่อนุญาตให้มีการขับเคลื่อนเรือโดยคนถือพายเรือ (IDBF, 2013)

ก.5.5 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.10 น้ำหนักเรือ

ไม่ว่าน้ำหนักขั้นต่ำของเรือมังกรในระเบียบฉบับนี้จะกำหนดไว้เท่าใดก็ตาม เรือที่ใช้ในการแข่งของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติจะต้องมีน้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 10 กิโลกรัม (กัณยาน 2546) ในการแข่งขันชิงแชมป์เอเชียของสหพันธ์เรือมังกรนานาชาติ คณะกรรมการ

จัดการแข่งขันต้องทำให้แน่ใจ ว่าเรือทุกลำมีความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างกันอยู่ภายในกำหนด และต้องออกเอกสารรับรองข้อเท็จจริงดังกล่าวต่อหัวหน้าเจ้าหน้าที่ก่อนที่การแข่งขันจะเริ่มขึ้น (IDBF, 2013)

ก.5.6 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 5.11 การถ่วงน้ำหนักเรือ

เมื่อคณะลูกเรือได้รับอนุญาตให้นำเรือของตนมาใช้ในการแข่งขันชิงแชมป์เยาวชนของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ ผู้จัดการแข่งขันต้องจัดให้มีอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักเรือที่เหมาะสมสำหรับใช้ก่อนและระหว่างการแข่งขัน

ในการแข่งขันอื่นๆของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ การถ่วงน้ำหนักเรือเป็นสิ่งไม่จำเป็น แต่อาจทำได้หากได้รับการร้องขอจากหัวหน้าเจ้าหน้าที่ก่อนเริ่มงาน และมีข้อแม้ว่าจะต้องมีอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม (IDBF, 2013)

ก.6 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 6 ระยะเวลาการแข่งขันและคู่แข่งเรือ

ก.6.1 ระเบียบการแข่งขันข้อที่ 6.1 ระยะเวลา

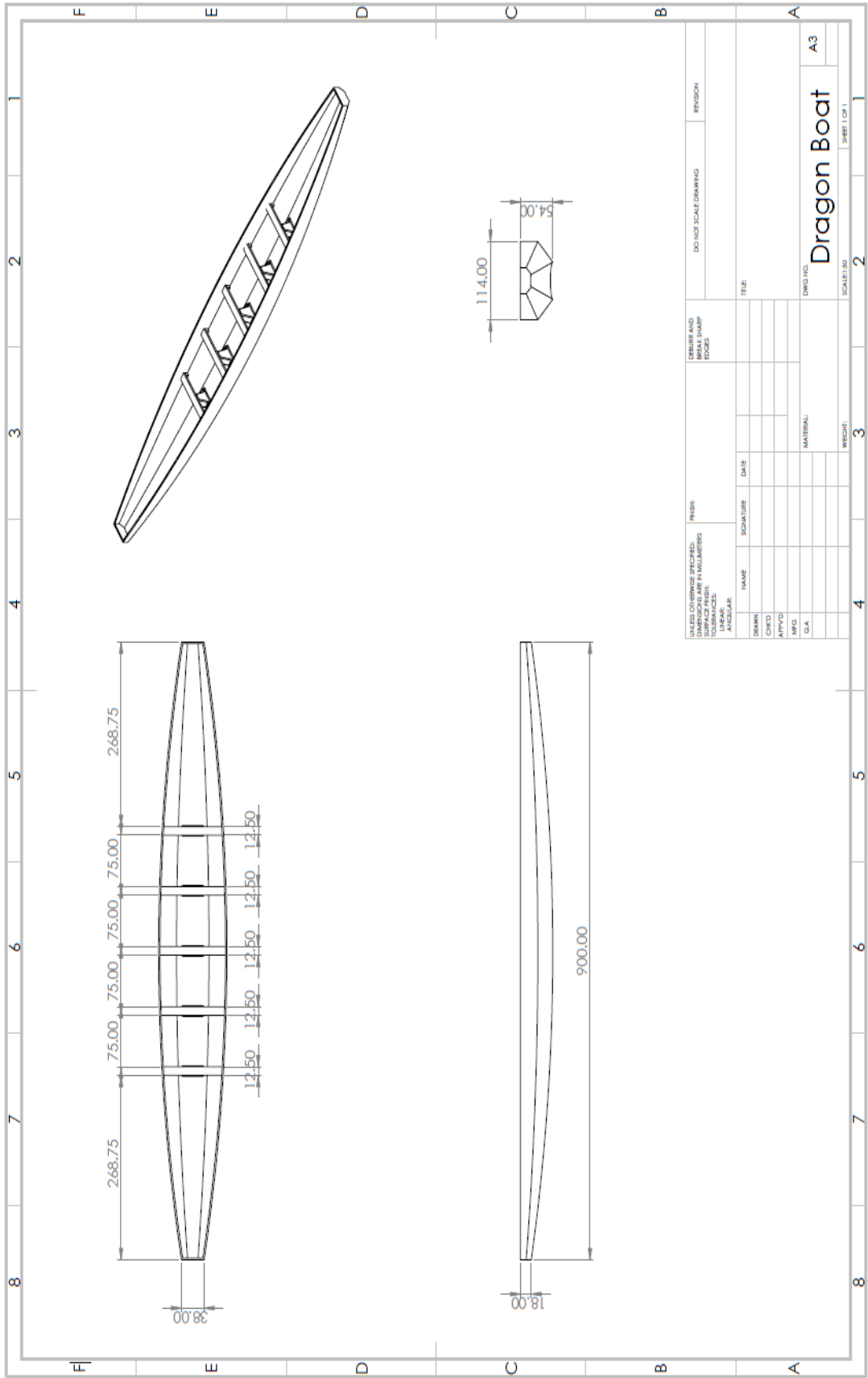
การแข่งขันเรือมั่งกรเวิลด์แชมเปียนชิพอาจจัดขึ้นในระยะเวลา 200 เมตร 250 เมตร 500 เมตร 1,000 เมตร และ 2,000 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่กำหนดแต่เพียงในนาม (กันยายน 2546) อีกทั้ง การแข่งที่ใช้การพายตามแบบประเพณี ในระยะทางเดียวกัน อาจจัดได้โดยอยู่ในดุลยพินิจของคณะกรรมการจัดการแข่งขัน สำหรับการแข่งเรือรีกัตต้าชิงแชมป์เยาวชนอื่นๆ ต้องจัดขึ้นในระยะเวลาอย่างน้อย 500 เมตร

a. สำหรับการแข่งขันชิงแชมป์เยาวชนชิงแชมป์โลกเรือสโมสร (การแข่งขัน UCWC หรือ Corcom) เมื่อสนามแข่งเรือไม่เอื้อให้จัดการแข่งระยะทาง 500 เมตร อาจอนุญาตให้จัดในระยะเวลาที่เลือกระหว่าง 200 เมตร และ 500 เมตร โดยอยู่ในดุลยพินิจของคณะกรรมการบริหารของสหพันธ์เรือมั่งกรนานาชาติ

b. สำหรับการแข่งระดับนานาชาติ ระยะเวลาทั้งหมดหรือบางระยะ หรือระยะทางการแข่งที่กำหนดในแต่ละท้องถิ่นอาจเสนอให้มีได้ในรายการแข่ง การแข่งที่ไม่ได้เล่นเรือไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมดต้องเป็นไปตามกติกาพิเศษที่เกี่ยวข้องกับการกลับเรือและความปลอดภัย (IDBF, 2013)



ภาคผนวก ข
แบบเรือพายมังกร



ALL DIMENSIONS UNLESS SPECIFIED IN PARAGRAPHS OR NOTES DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS SPECIFIED OTHERWISE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		FINISH FINISH TO BE SHOWN IN ALL DIMENSIONS	WEIGHTS WEIGHTS TO BE SHOWN IN ALL DIMENSIONS	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DESIGNER NAME SIGNATURE DATE	TITLE	DRAWING NO. Dragon Boat	SHEET NO. 2	SCALE 1:20	SHEET OF 1
DRAWN CHECKED APPROVED MFG QA	DATE	MATERIAL	WEIGHTS	SCALE	SHEET OF

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร

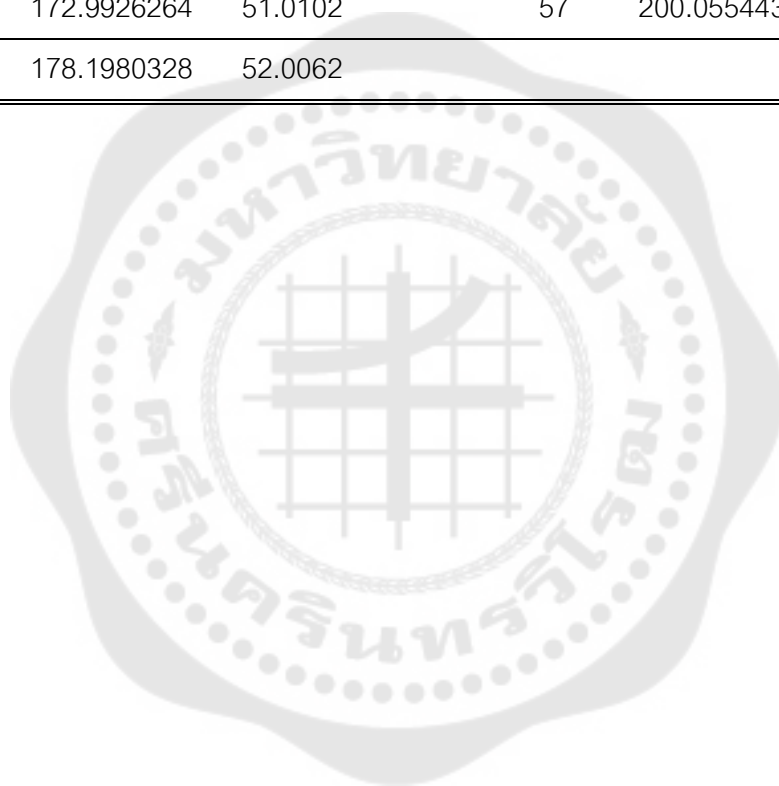


ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1
นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
1	0	0	25	53.07877436	24.0102
2	0.037278765	1.0062	26	56.67857788	25.0062
3	0.442094198	2.0022	27	60.15951197	26.0022
4	1.270106672	3.0102	28	63.76872269	27.0102
5	2.1553389	4.0062	29	67.60183514	28.0062
6	3.32393302	5.0022	30	71.3468839	29.0022
7	4.929058483	6.0102	31	75.15925976	30.0102
8	6.55967506	7.0062	32	79.21706316	31.0062
9	8.354198544	8.0022	33	83.22823788	32.0022
10	10.55237906	9.0102	34	87.24965996	33.0102
11	12.74069411	10.0062	35	91.50894818	34.0062
12	14.96056594	11.0022	36	95.73809261	35.0022
13	17.52564665	12.0102	37	100.0360535	36.0102
14	20.07044903	13.0062	38	104.4918492	37.0062
15	22.54936277	14.0022	39	109.0216679	38.0022
16	25.33187217	15.0102	40	113.4802005	39.0102
17	28.13710399	16.0062	41	118.1060643	40.0062
18	30.84445757	17.0022	42	122.8623306	41.0022
19	33.84120053	18.0102	43	127.5297312	42.0102
20	36.92766839	19.0062	44	132.3080071	43.0062
21	39.88890201	20.0022	45	137.2718175	44.0022
22	43.09530222	21.0102	46	142.1472587	45.0102
23	46.44928993	22.0062	47	147.0741531	46.0062
24	49.67109937	23.0022	48	152.2268206	47.0022

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
49	157.3138794	48.0102	54	183.6564535	53.0022
50	162.3833586	49.0062	55	189.1365656	54.0102
51	167.7025934	50.0022	56	194.4725527	55.0062
52	172.9926264	51.0102	57	200.0554439	56.0022
53	178.1980328	52.0062			



ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2
นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
1	0	0	25	57.4381937	24.0102
2	0.04572024	1.0062	26	61.4107296	25.0062
3	0.48661236	2.0022	27	65.271021	26.0022
4	1.37726562	3.0102	28	69.2721115	27.0102
5	2.33254831	4.0062	29	73.5081786	28.0062
6	3.58527906	5.0022	30	77.6634639	29.0022
7	5.29353451	6.0102	31	81.8962414	30.0102
8	7.02966687	7.0062	32	86.3761279	31.0062
9	8.93852819	8.0022	33	90.8170907	32.0022
10	11.2665301	9.0102	34	95.2793708	33.0102
11	13.5878672	10.0062	35	100.164983	34.0062
12	15.9481542	11.0022	36	104.724769	35.0022
13	18.6727952	12.0102	37	109.428066	36.0102
14	21.376494	13.0062	38	114.339614	37.0062
15	24.0327751	14.0022	39	119.333628	38.0022
16	27.0395407	15.0102	40	124.224595	39.0102
17	30.0917437	16.0062	41	129.285785	40.0062
18	33.039354	17.0022	42	134.457061	41.0022
19	36.2976238	18.0102	43	139.529422	42.0102
20	39.6646839	19.0062	44	144.707791	43.0062
21	42.9175257	20.0022	45	150.07762	44.0022
22	46.432392	21.0102	46	155.34885	45.0102
23	50.111638	22.0062	47	160.672295	46.0062
24	53.6710008	23.0022	48	166.228492	47.0022

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
49	171.708395	48.0102	52	188.582738	51.0102
50	177.167454	49.0062	53	194.189965	52.0062
51	182.885899	50.0022	54	200.045867	53.0022



ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3
นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
1	0	0	25	54.984906	24.0102
2	0.03966373	1.0062	26	58.8517385	25.0062
3	0.45013766	2.0022	27	62.6116585	26.0022
4	1.28477091	3.0102	28	66.501048	27.0102
5	2.17698746	4.0062	29	70.6110925	28.0062
6	3.35035338	5.0022	30	74.6407259	29.0022
7	4.95702744	6.0102	31	78.7439403	30.0102
8	6.58842596	7.0062	32	83.0826799	31.0062
9	8.38280177	8.0022	33	87.3855298	32.0022
10	10.5762911	9.0102	34	91.7083031	33.0102
11	12.7633473	10.0062	35	96.2650135	34.0062
12	14.9887314	11.0022	36	100.839366	35.0022
13	17.56608	12.0102	37	105.379291	36.0102
14	20.1408641	13.0062	38	110.100529	37.0062
15	22.6836589	14.0022	39	114.895096	38.0022
16	25.5632457	15.0102	40	119.53809	39.0102
17	28.4891625	16.0062	41	124.309356	40.0062
18	31.3232448	17.0022	42	129.157556	41.0022
19	34.4674665	18.0102	43	133.865373	42.0102
20	37.716975	19.0062	44	138.642373	43.0062
21	40.8639187	20.0022	45	143.582703	44.0022
22	44.271742	21.0102	46	148.413601	45.0102
23	47.8463671	22.0062	47	153.286651	46.0062
24	51.3133867	23.0022	48	158.389467	47.0022

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ลำดับ	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
49	163.408708	48.0102	53	184.018348	52.0062
50	168.408191	49.0062	54	189.394923	53.0022
51	173.661068	50.0022	55	194.784855	54.0102
52	178.886095	51.0102	56	200.006505	55.0062



ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ใน
ระยะทาง 200 เมตร

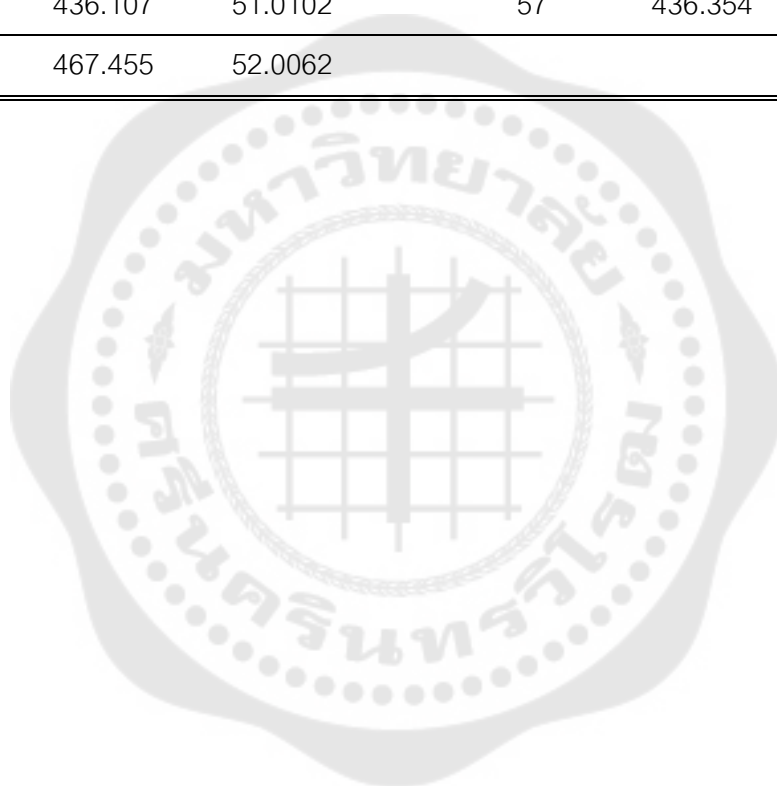


ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)
1	0	0.00	25	373.028	24.0102
2	46.6924	1.0062	26	381.22	25.0062
3	66.8485	2.0022	27	417.365	26.0022
4	95.8006	3.0102	28	389.704	27.0102
5	120.008	4.0062	29	363.291	28.0062
6	144.433	5.0022	30	413.666	29.0022
7	172.447	6.0102	31	388.313	30.0102
8	241.893	7.0062	32	297.011	31.0062
9	265.727	8.0022	33	369.833	32.0022
10	349.919	9.0102	34	376.149	33.0102
11	360.477	10.0062	35	395.31	34.0062
12	419.348	11.0022	36	393.505	35.0022
13	440.541	12.0102	37	381.373	36.0102
14	452.002	13.0062	38	401.464	37.0062
15	433.465	14.0022	39	432.841	38.0022
16	482.468	15.0102	40	375.431	39.0102
17	394.615	16.0062	41	486.308	40.0062
18	308.679	17.0022	42	443.972	41.0022
19	424.769	18.0102	43	404.76	42.0102
20	402.225	19.0062	44	488.936	43.0062
21	408.284	20.0022	45	394.011	44.0022
22	418.621	21.0102	46	439.967	45.0102
23	348.744	22.0062	47	387.648	46.0062
24	368.672	23.0022	48	413.064	47.0022

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ใน ระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)
49	387.171	48.0102	54	524.561	53.0022
50	356.148	49.0062	55	509.308	54.0102
51	471.211	50.0022	56	441.17	55.0062
52	436.107	51.0102	57	436.354	56.0022
53	467.455	52.0062			



ตารางที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)
1	0	0.00	25	417.807	24.0102
2	11.4935	1.0062	26	385.66	25.0062
3	34.4345	2.0022	27	359.375	26.0022
4	64.9788	3.0102	28	367.118	27.0102
5	101.863	4.0062	29	366.008	28.0062
6	143.428	5.0022	30	460.267	29.0022
7	167.013	6.0102	31	381.84	30.0102
8	255.268	7.0062	32	384.161	31.0062
9	253.494	8.0022	33	434.869	32.0022
10	317.025	9.0102	34	367.325	33.0102
11	383.931	10.0062	35	422.597	34.0062
12	403.698	11.0022	36	421.022	35.0022
13	439.205	12.0102	37	326.847	36.0102
14	400	13.0062	38	477.054	37.0062
15	341.175	14.0022	39	404.69	38.0022
16	419.401	15.0102	40	472.543	39.0102
17	441.889	16.0062	41	366.827	40.0062
18	272.025	17.0022	42	440.381	41.0022
19	373.423	18.0102	43	340.124	42.0102
20	376.69	19.0062	44	409.08	43.0062
21	387.259	20.0022	45	380.888	44.0022
22	410.112	21.0102	46	257.293	45.0102
23	354.993	22.0062	47	497.12	46.0062
24	360.346	23.0022	48	464.862	47.0022

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ใน ระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)
49	474.615	48.0102	52	443.6	51.0102
50	439.618	49.0062	53	342.771	52.0062
51	416.831	50.0022	54	388.086	53.0022

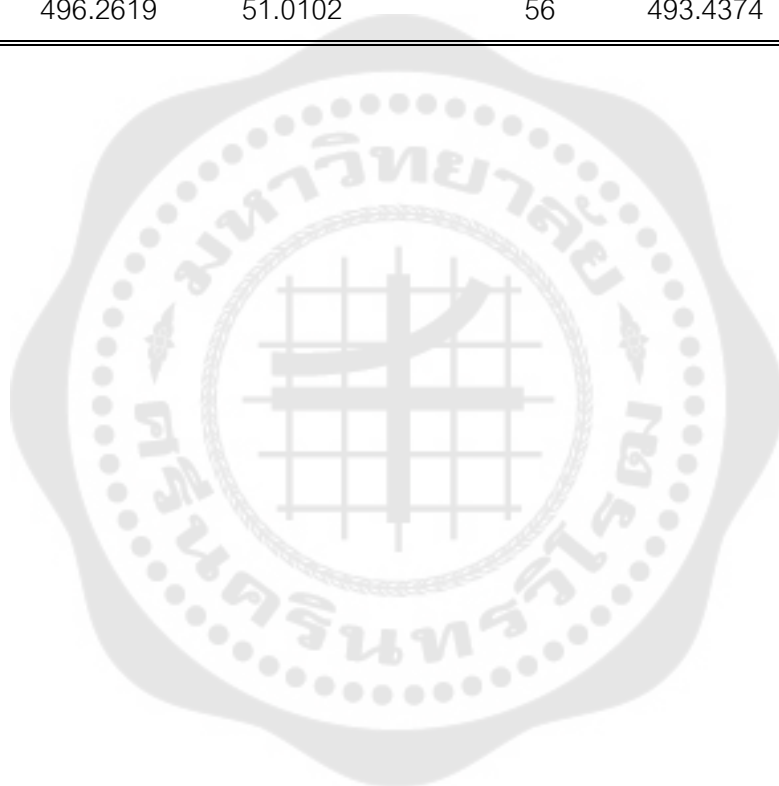


ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)
1	0	0.00	25	391.2518	24.0102
2	32.44494	1.0062	26	384.7442	25.0062
3	44.44031	2.0022	27	360.1262	26.0022
4	74.55943	3.0102	28	400.215	27.0102
5	104.3304	4.0062	29	394.0503	28.0062
6	138.2837	5.0022	30	437.9844	29.0022
7	156.4257	6.0102	31	375.2851	30.0102
8	218.2375	7.0062	32	387.6903	31.0062
9	264.7566	8.0022	33	425.3753	32.0022
10	301.6967	9.0102	34	399.8348	33.0102
11	332.0141	10.0062	35	401.9515	34.0062
12	390.6283	11.0022	36	380.2703	35.0022
13	366.6389	12.0102	37	434.1953	36.0102
14	380.0627	13.0062	38	421.9416	37.0062
15	372.5629	14.0022	39	400	38.0022
16	455.0818	15.0102	40	492.2098	39.0102
17	413.8381	16.0062	41	335.8239	40.0062
18	292.8394	17.0022	42	446.4911	41.0022
19	344.5287	18.0102	43	405.5732	42.0102
20	348.9094	19.0062	44	366.9411	43.0062
21	312.8816	20.0022	45	387.1029	44.0022
22	373.5939	21.0102	46	325.3309	45.0102
23	371.8197	22.0062	47	373.2982	46.0062
24	309.8252	23.0022	48	473.8645	47.0022

ตารางที่ ง.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกร ใน ระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงต้านทาน (N)	เวลา (s)
49	529.9154	48.0102	53	474.2019	52.0062
50	485.209	49.0062	54	545.6803	53.0022
51	481.6126	50.0022	55	532.7688	54.0102
52	496.2619	51.0102	56	493.4374	55.0062



ภาคผนวก จ
ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง
200 เมตร

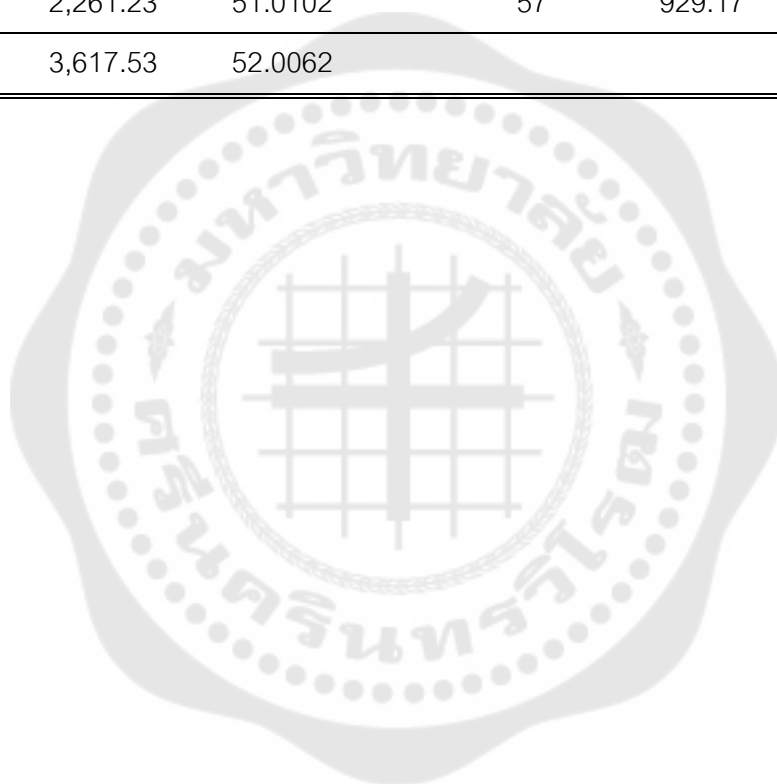


ตารางที่ ๑.1 ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)
1	0	0.00	25	9,816.87	24.0102
2	11,431.20	1.0062	26	8,718.16	25.0062
3	12,149.50	2.0022	27	8,222.87	26.0022
4	11,349.00	3.0102	28	10,532.10	27.0102
5	10,081.50	4.0062	29	8,794.42	28.0062
6	11,403.50	5.0022	30	9,500.00	29.0022
7	11,870.30	6.0062	31	7,620.47	30.0102
8	11,360.50	7.0062	32	8,284.71	31.0062
9	13,768.80	8.0022	33	5,316.40	32.0022
10	12,192.30	9.0102	34	7,549.17	33.0102
11	10,375.60	10.0062	35	6,275.56	34.0062
12	10,549.70	11.0022	36	6,006.60	35.0022
13	11,600.20	12.0102	37	7,204.46	36.0102
14	10,968.40	13.0062	38	7,985.21	37.0062
15	10,778.70	14.0022	39	6,295.90	38.0022
16	7,885.50	15.0102	40	6,725.78	39.0102
17	11,873.20	16.0062	41	5,141.80	40.0062
18	10,165.20	17.0022	42	4,511.71	41.0022
19	10,293.10	18.0102	43	5,077.59	42.0102
20	10,873.10	19.0062	44	2,850.36	43.0062
21	10,349.10	20.0022	45	3,674.03	44.0022
22	10,824.10	21.0102	46	5,843.28	45.0102
23	8,942.63	22.0062	47	7,184.97	46.0062
24	11,322.30	23.0022	48	6,567.90	47.0022

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)
49	3,516.20	48.0102	54	2,740.93	53.0022
50	3,433.30	49.0062	55	2,866.67	54.0102
51	2,630.12	50.0022	56	1,915.42	55.0062
52	2,261.23	51.0102	57	929.17	56.0022
53	3,617.53	52.0062			



ตารางที่ ๑.2 ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)
1	0	0.00	25	10,499.60	24.0102
2	12,206.72	1.0062	26	9,229.88	25.0062
3	13,501.15	2.0022	27	12,113.05	26.0022
4	12,729.97	3.0102	28	10,403.73	27.0102
5	12,486.73	4.0062	29	7,987.37	28.0062
6	14,887.98	5.0022	30	11,067.11	29.0022
7	12,078.85	6.0062	31	9,622.89	30.0102
8	12,943.55	7.0062	32	10,053.39	31.0062
9	12,669.65	8.0022	33	8,843.28	32.0022
10	12,848.60	9.0102	34	9,063.01	33.0102
11	10,866.16	10.0062	35	8,012.62	34.0062
12	12,103.28	11.0022	36	8,005.35	35.0022
13	10,897.06	12.0102	37	9,554.57	36.0102
14	13,532.54	13.0062	38	9,517.16	37.0062
15	13,121.90	14.0022	39	8,464.82	38.0022
16	13,813.96	15.0102	40	9,150.54	39.0102
17	10,715.81	16.0062	41	8,079.18	40.0062
18	10,672.56	17.0022	42	5,125.08	41.0022
19	9,618.46	18.0102	43	6,829.74	42.0102
20	10,572.03	19.0062	44	4,916.77	43.0062
21	10,167.39	20.0022	45	5,704.75	44.0022
22	10,590.20	21.0102	46	6,177.13	45.0102
23	7,965.05	22.0062	47	8,458.04	46.0062
24	11,003.86	23.0022	48	7,535.19	47.0022

ตารางที่ ๑.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)
49	4,732.85	48.0102	52	3,099.15	51.0102
50	5,000.00	49.0062	53	4,448.46	52.0062
51	3,964.03	50.0022	54	2,838.56	53.0022

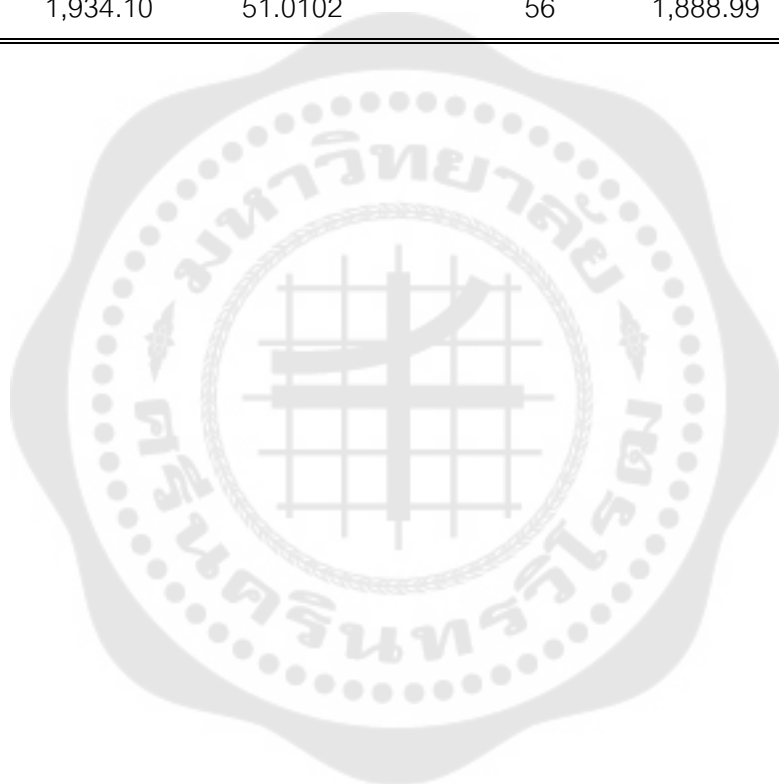


ตารางที่ ๑.3 ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)
1	0	1.0062	25	9,816.87	1.0062
2	11,409.99	2.0022	26	8,718.16	25.0062
3	12,638.00	3.0102	27	8,222.87	26.0022
4	11,785.17	4.0062	28	10,532.12	27.0102
5	12,250.72	5.0022	29	8,794.42	28.0062
6	13,556.03	6.0062	30	10,295.49	29.0022
7	13,925.44	7.0062	31	8,335.95	30.0102
8	11,343.81	8.0022	32	9,595.24	31.0062
9	13,085.93	9.0102	33	7,091.37	32.0022
10	13,015.53	10.0062	34	8,005.11	33.0102
11	10,555.88	11.0022	35	7,745.49	34.0062
12	10,863.92	12.0102	36	6,565.27	35.0022
13	7,878.08	13.0062	37	8,968.76	36.0102
14	11,555.14	14.0022	38	8,895.85	37.0062
15	10,458.35	15.0102	39	7,653.74	38.0022
16	8,582.44	16.0062	40	7,877.27	39.0102
17	11,356.82	17.0022	41	6,076.13	40.0062
18	8,719.71	18.0102	42	4,665.09	41.0022
19	9,095.89	19.0062	43	5,133.83	42.0102
20	10,710.51	20.0022	44	3,029.77	43.0062
21	11,273.90	21.0102	45	4,186.89	44.0022
22	10,824.14	22.0062	46	5,757.85	45.0102
23	8,942.63	23.0022	47	7,441.50	46.0062
24	11,322.34	24.0102	48	6,687.82	47.0022

ตารางที่ ๑.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แรงยกที่กระทำกับการเคลื่อนที่ของเรือพายมังกกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)	ลำดับ	แรงยก (N)	เวลา (s)
49	3,891.35	48.0102	53	1,184.60	52.0062
50	4,694.96	49.0062	54	1,036.14	53.0022
51	1,306.15	50.0022	55	2,379.56	54.0102
52	1,934.10	51.0102	56	1,888.99	55.0062



ภาคผนวก จ
ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร

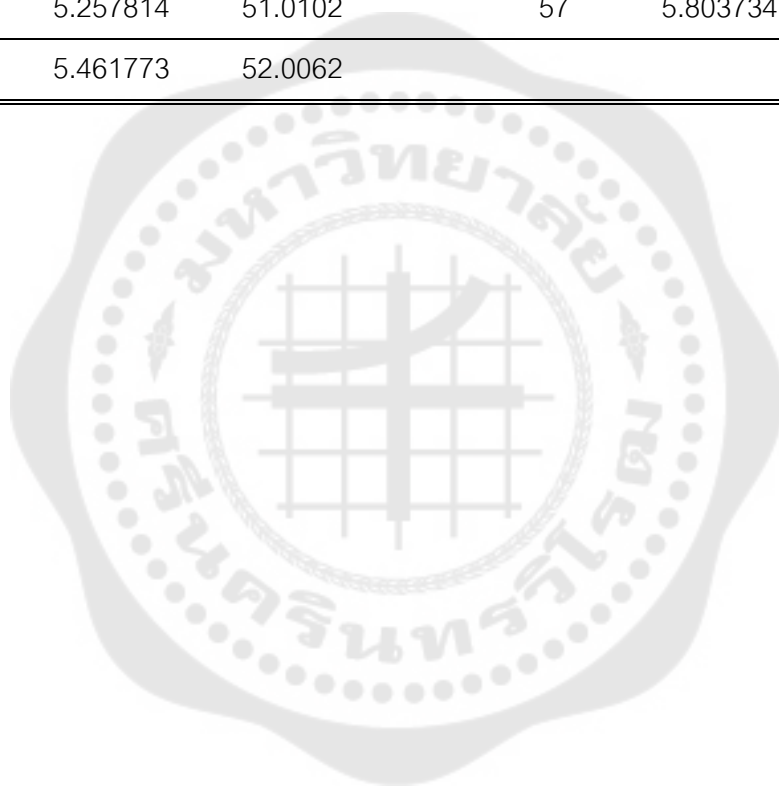


ตารางที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1
นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)
1	0	0	25	3.622122	24.0102
2	0.152852	1.0062	26	3.653192	25.0062
3	0.691129	2.0022	27	3.520318	26.0022
4	0.898979	3.0102	28	3.823228	27.0102
5	0.972847	4.0062	29	3.92854	28.0062
6	1.456287	5.0022	30	3.760309	29.0022
7	1.696705	6.0102	31	4.014272	30.0102
8	1.677917	7.0062	32	4.196635	31.0062
9	2.058597	8.0022	33	4.013805	32.0022
10	2.305572	9.0102	34	4.199342	33.0102
11	2.1918	10.0062	35	4.446657	34.0182
12	2.43749	11.0022	36	4.283091	35.0022
13	2.682406	12.0102	37	4.391579	36.0102
14	2.513808	13.0062	38	4.678797	37.0062
15	2.64672	14.0022	39	4.5386	38.0022
16	2.929102	15.0102	40	4.564683	39.0102
17	2.776919	16.0062	41	4.879528	40.0062
18	2.847677	17.0022	42	4.783281	41.0022
19	3.176725	18.0102	43	4.732456	42.0102
20	3.074164	19.0062	44	5.04976	43.0062
21	3.06805	20.0022	45	5.019503	44.0022
22	3.410208	21.0102	46	4.904112	45.0102
23	3.369668	22.0062	47	5.206184	46.0062
24	3.291655	23.0022	48	5.246865	47.0022

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 1 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านหน้าของเรือ

ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)
49	5.080501	48.0102	54	5.638985	53.0022
50	5.343898	49.0062	55	5.429245	54.0102
51	5.455973	50.0022	56	5.561921	55.0062
52	5.257814	51.0102	57	5.803734	56.0022
53	5.461773	52.0062			



ตารางที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2
นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)
1	0	0	25	3.98192	24.0102
2	0.17207	1.0062	26	4.02237	25.0062
3	0.73879	2.0022	27	3.89298	26.0022
4	0.96247	3.0102	28	4.2088	27.0102
5	1.04528	4.0062	29	4.32758	28.0062
6	1.54805	5.0022	30	4.1639	29.0022
7	1.79863	6.0102	31	4.42969	30.0102
8	1.7812	7.0062	32	4.616	31.0062
9	2.17552	8.0022	33	4.43462	32.0022
10	2.4324	9.0102	34	4.63372	33.0102
11	2.32046	10.0062	35	4.89179	34.0062
12	2.57947	11.0022	36	4.72197	35.0022
13	2.83939	12.0102	37	4.83949	36.0102
14	2.67718	13.0062	38	5.13422	37.0062
15	2.83334	14.0022	39	4.98448	38.0022
16	3.16606	15.0102	40	4.98331	39.0102
17	3.01147	16.0062	41	5.29142	40.0062
18	3.08491	17.0022	42	5.17063	41.0022
19	3.44006	18.0102	43	5.11253	42.0102
20	3.35354	19.0062	44	5.43878	43.0062
21	3.35532	20.0022	45	5.4122	44.0022
22	3.71836	21.0102	46	5.28035	45.0102
23	3.69351	22.0062	47	5.59737	46.0062
24	3.63001	23.0022	48	5.62492	47.0022

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 2 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ตรงกลางของเรือ

ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)
49	5.45148	48.0102	52	5.64068	51.0102
50	5.72252	49.0062	53	5.85583	52.0062
51	5.84287	50.0022	54	6.02813	53.0022



ตารางที่ ๓.3 ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3
นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)
1	0	0	25	3.934328	24.0102
2	0.158784	1.0062	26	3.975061	25.0062
3	0.702154	2.0022	27	3.843458	26.0022
4	0.913891	3.0102	28	4.146594	27.0102
5	0.990201	4.0062	29	4.256855	28.0062
6	1.475486	5.0022	30	4.095388	29.0022
7	1.716591	6.0102	31	4.352042	30.0102
8	1.697325	7.0062	32	4.535489	31.0062
9	2.077854	8.0022	33	4.360162	32.0022
10	2.325889	9.0102	34	4.548402	33.0102
11	2.216634	10.0062	35	4.796944	34.0062
12	2.469961	11.0022	36	4.629871	35.0022
13	2.727417	12.0102	37	4.733188	36.0102
14	2.584809	13.0062	38	5.005201	37.0062
15	2.758283	14.0022	39	4.840632	38.0022
16	3.07393	15.0102	40	4.793674	39.0102
17	2.931184	16.0062	41	5.048877	40.0062
18	3.019112	17.0022	42	4.881198	41.0022
19	3.366672	18.0102	43	4.784177	42.0102
20	3.28579	19.0062	44	5.074585	43.0062
21	3.295165	20.0022	45	5.040831	44.0022
22	3.661202	21.0102	46	4.902234	45.0102
23	3.645867	22.0062	47	5.21264	46.0062
24	3.590672	23.0022	48	5.227106	47.0022

ตารางที่ จ.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความเร็วในการพายเรือมังกร ในระยะทาง 200 เมตร รูปแบบที่ 3 นักพายเรือที่มีน้ำหนักมากไว้ด้านท้ายของเรือ

ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ลำดับ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)
49	5.063626	48.0102	53	5.450091	52.0062
50	5.323641	49.0062	54	5.606012	53.0022
51	5.444048	50.0022	55	5.386039	54.0102
52	5.243316	51.0102	56	5.494251	55.0062

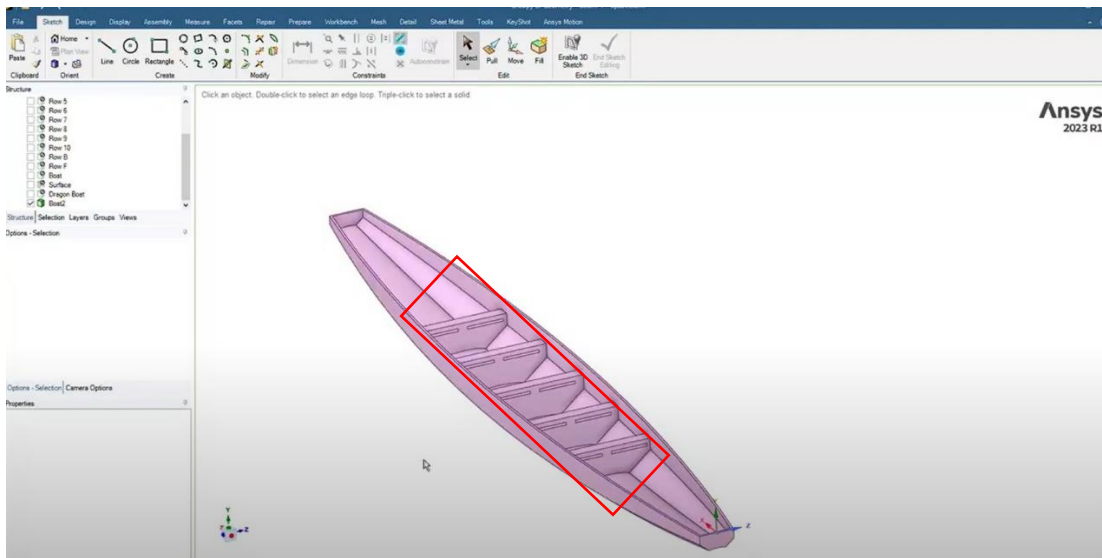




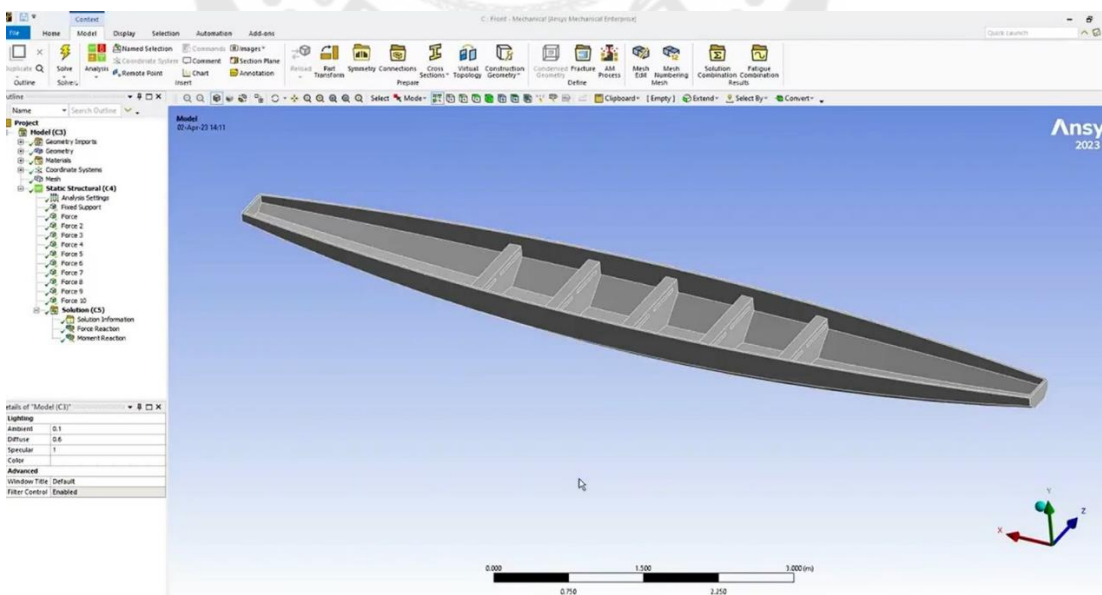
ภาคผนวก ช
ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench

ข.1 ขั้นตอนการใส่แรงของนักพายเรือ

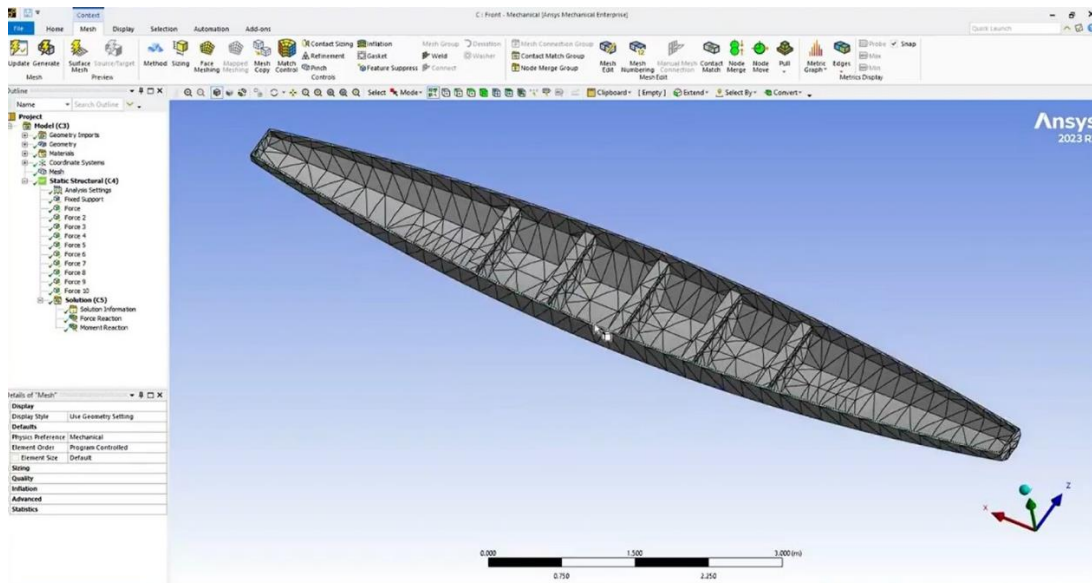
ข.1.1 เปิดโปรแกรม Ansys Workbench เข้าไปที่ Geometry เลือก Model เรือที่เตรียมไว้ จากนั้นสร้างกรอบสี่เหลี่ยมตามตำแหน่งที่นักพายเรือนั่ง เพื่อกำหนดจุดในการใส่แรงแต่ละตำแหน่งของนักพายเรือ



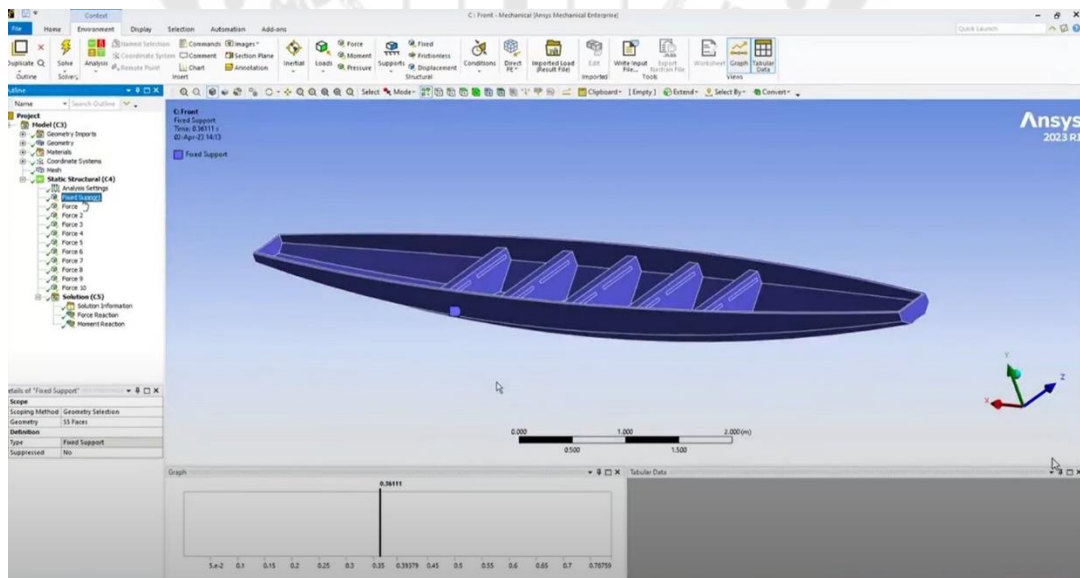
ข.1.2 เปิดโปรแกรม Static Structural ใน Ansys Workbench



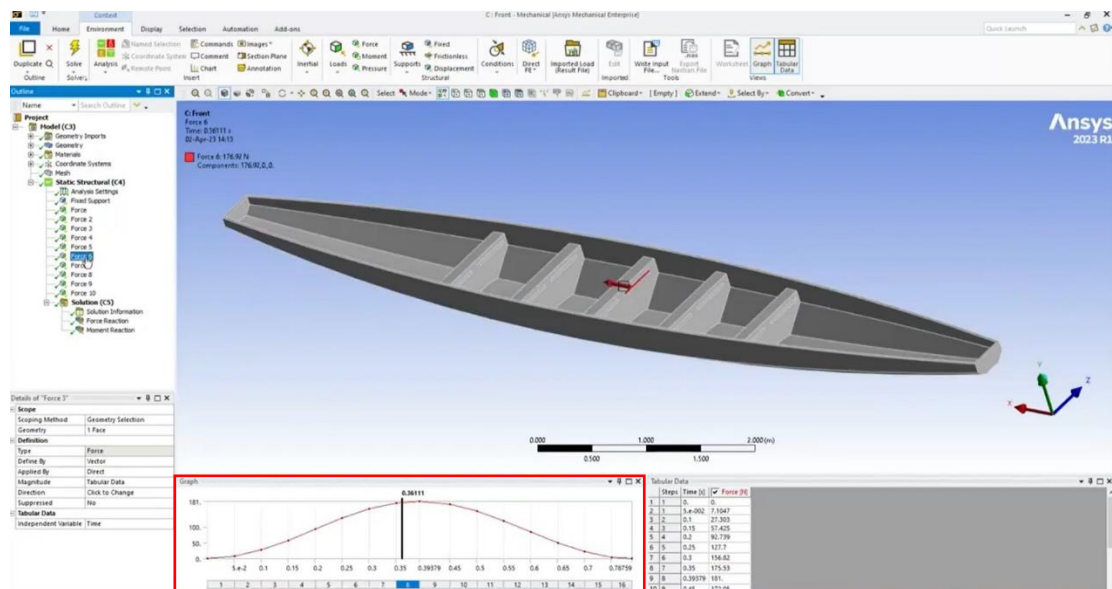
ข.1.3 ตี Mesh ของ Model



ข.1.4 กำหนด Fixed Support แต่ละจุดให้คงที่ เพื่อไม่ให้ Model เคลื่อนที่



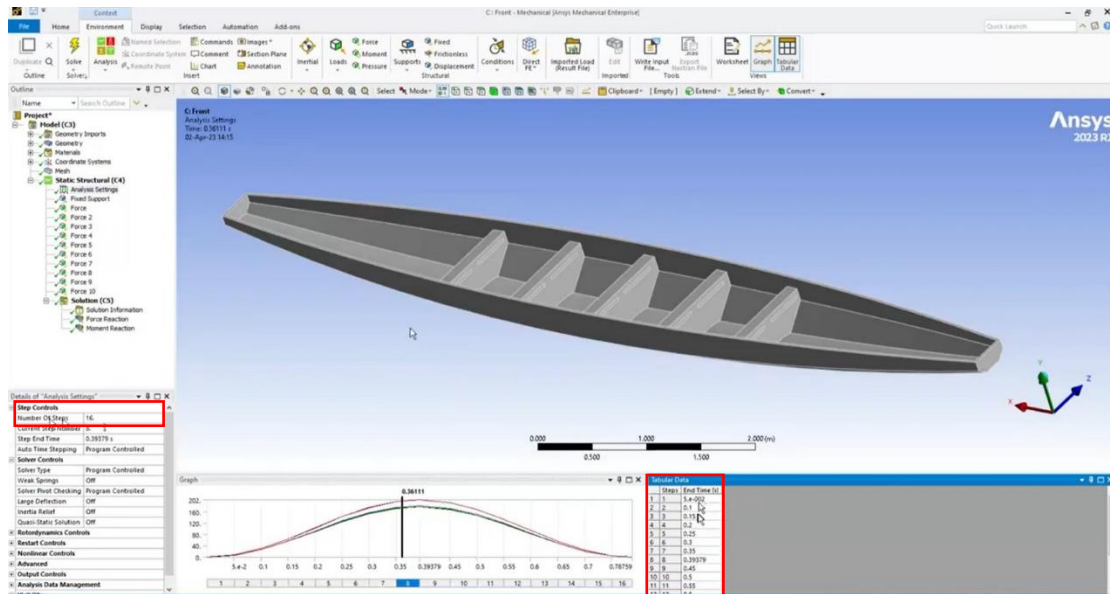
ข.1.5 ใส่ข้อมูลแรงของนักพายเรือที่มาจากเครื่องพายเรือ (Ergometer) ตามตำแหน่งที่กำหนดใน Geometry เพราะใน Fluent ไม่สามารถใส่แรงแต่ละจุดได้ โดยกำหนดค่าแรงแต่ละจุดในรูปของ Sine เริ่มจาก 0 ไปถึงจุด Peak (คือค่าแรงสูงสุดของนักพายเรือ) แล้วค่อยดรอปลงมาต่อหนึ่งการพาย



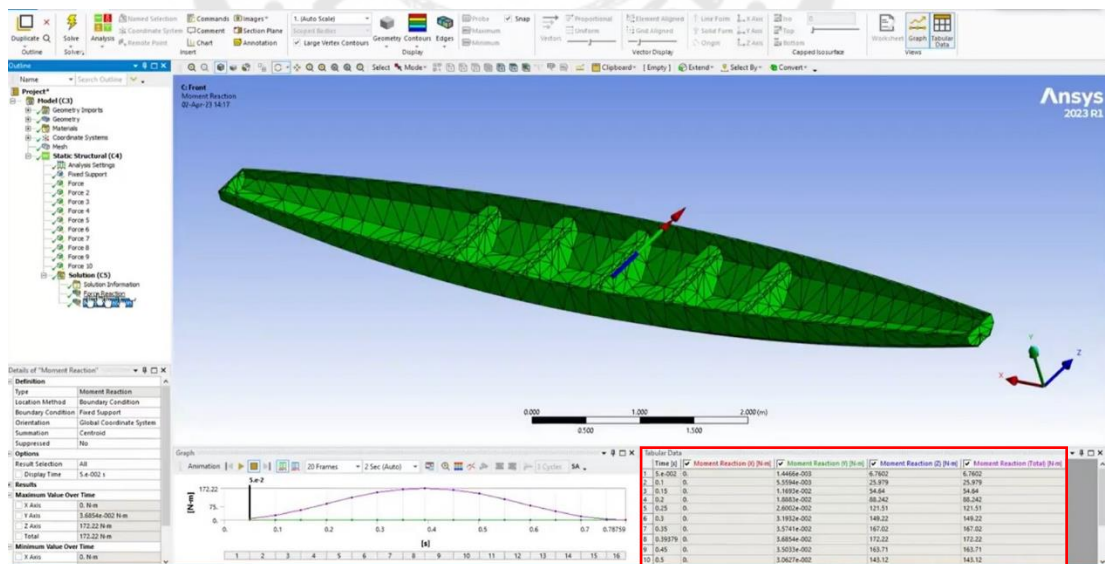
ข.1.6 ใส่ข้อมูลการคำนวณแรงที่ได้มาจาก Ergometer ยกตัวอย่างนักพายเรือ No.1 มีค่า STR.Rate 71 ครั้ง/1 min นำค่ามาใส่ความกว้างของกราฟ Sine

200 M (Male)					
NO.	Weigth (kg)	STR. Rate (spm)		FORCE (N)	
		L	R	L	R
1	80.3	71		178	
2	79.2	76		201	
3	67	77		181	
4	64.1	78		177	
5	62.3	85		185	
6	80		75		179
7	79.1		71		200
8	66.9		76		182
9	64		80		175
10	62.4		72		202

ข.1.7 เลือก Analysis Settings จากนั้น ป้อนค่า Number of Steps เป็น 16 เพื่อให้มีความถี่มากขึ้นได้ Time จะเพิ่มขึ้นทุก 0.05 วินาที

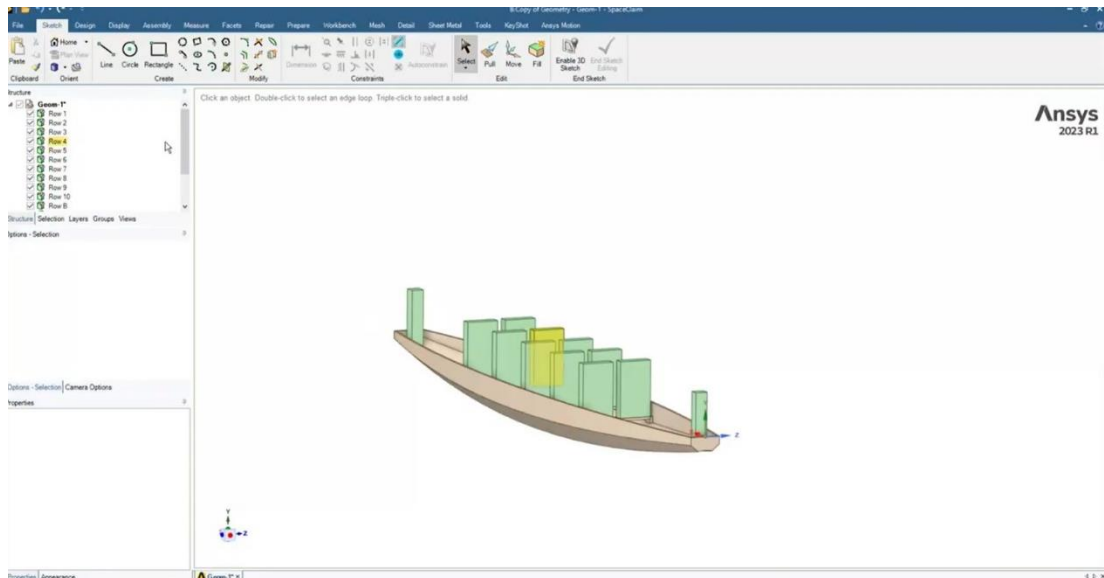


ข.1.8 กด Solve จากนั้นจะได้ค่า Force Reaction สูงสุด กับค่า Moment เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ใน Ansys Fluent ต่อไป โดยวิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่แรงแต่ละจุดและรอบต่อการพายมีไม่เท่ากัน

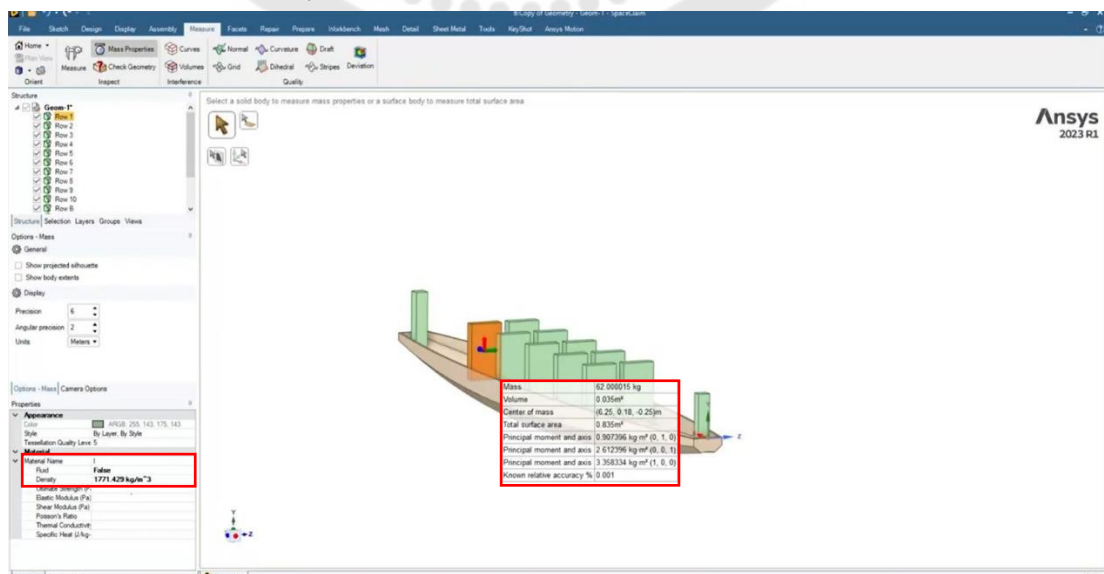


ช.2 ขั้นตอนการใส่น้ำหนักและคุณสมบัติของเรือพายและนักพายเรือ

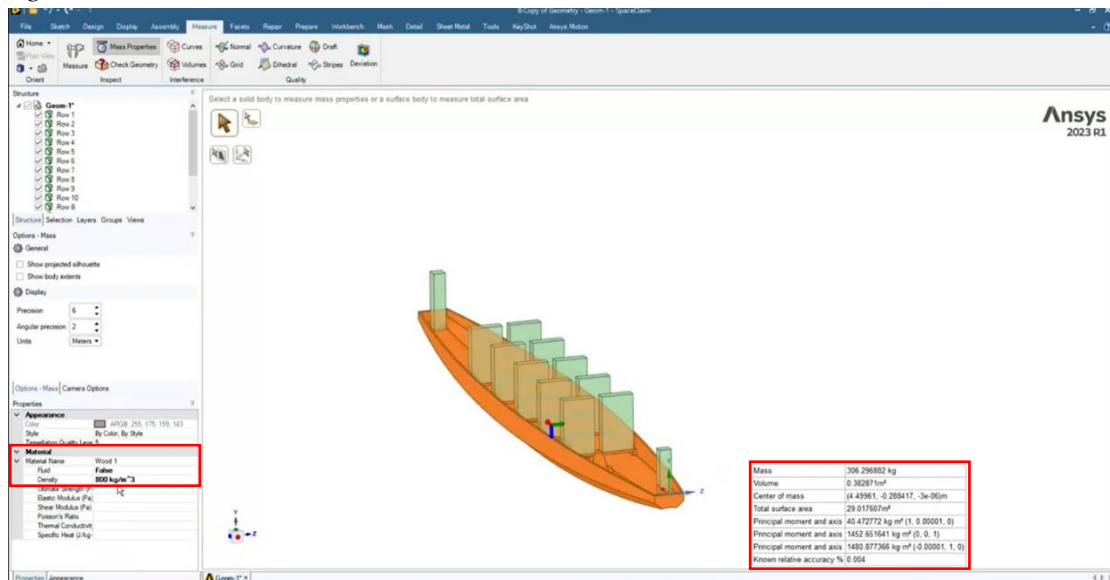
ช.2.1 เปิดโปรแกรม Ansys Workbench เลือก Geometry จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรม Ansys Spaceclaim เลือก Model เรือที่เตรียมไว้ จากนั้นสร้าง Model นักพายเรือแต่ละจุดตามตำแหน่งของนักพายเรือ



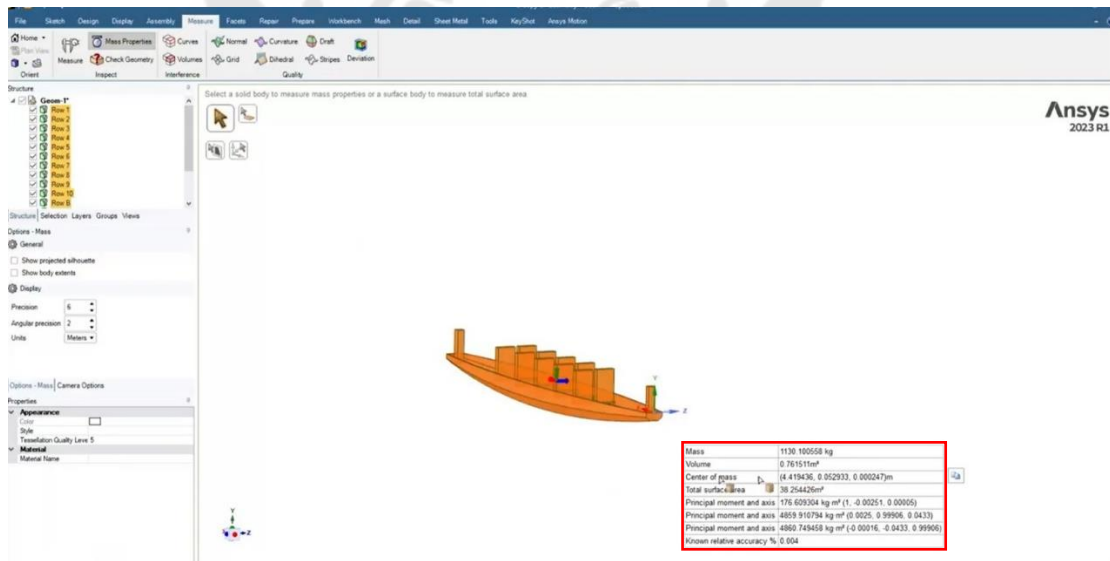
ช.2.2 เลือก Mass Properties เพื่อใส่ค่าน้ำหนักของนักพายเรือตามตำแหน่งที่กำหนด โดยโปรแกรมจะกำหนดให้ป้อนข้อมูลเป็นค่า Density ตามสมการ $\rho = \frac{m}{v}$ เมื่อ m คือมวลของนักพายเรือแต่ละจุด v คือปริมาตรของ Model นักพายเรือที่สร้างไว้



ข.2.3 ป้อนค่า density ของเรือพายมังกร เมื่อกำหนดค่าคุณสมบัติของเรือพาย ใน Mass Properties โดยกำหนดให้เรือพายมังกรทำมาจากไม้ตะเคียน มีค่า Density เท่ากับ 800 kg/m^3



ข.2.4 จากนั้นคลิกกรอบที่ Model จะแสดงค่า Center of mass และค่า Moment of inertia ในแต่ละแกน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป



ข.2.5 จะได้ข้อมูล Moment of inertia ใน 3 รูปแบบ เลือกราค่า ixx , iyy , izz ไปใช้ใน การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก Ansys Fluent ต่อไป

Mass	1130.933767 kg			
Volume	0.761303m ³			
Center of mass	(4.575013, 0.053078, 2.6e-05)m			
Total surface area	38.21868m ²			
Principal moment and axis	176.742096 kg·m ² (1, 0.00226, 0)			
Principal moment and axis	4858.202509 kg·m ² (-0.00226, 0.99999, 0.00473)			
Principal moment and axis	4859.021248 kg·m ² (0.00001, -0.00473, 0.99999)			
Known relative accuracy %	0.001			
	176.7421	176.742096	0.399437	0
	4858.203	-10.979538	4858.154	22.9793
	4859.021	0	-22.9832	4859.021
		ixx	ixy	ixz
		iyx	iyy	iyz
		izx	izy	izz

Mass	1130.9338 kg			
Volume	0.7613m ³			
Center of mass	(4.4961, 0.0531, 0)m			
Total surface area	38.2187m ²			
Principal moment and axis	176.7632 kg·m ² (1, -0.00016, -0.00076)			
Principal moment and axis	4771.1189 kg·m ² (0.00016, 0.99999, 0.0039)			
Principal moment and axis	4771.9641 kg·m ² (0.00076, -0.0039, 0.99999)			
Known relative accuracy %	0.001			
	176.6341	176.6341	-0.04592	-0.15191
	4772.578	1.43177346	4772.53	201.1642
	4773.443	4.05742664	-201.201	4773.395
		ixx	ixy	ixz
		iyx	iyy	iyz
		izx	izy	izz

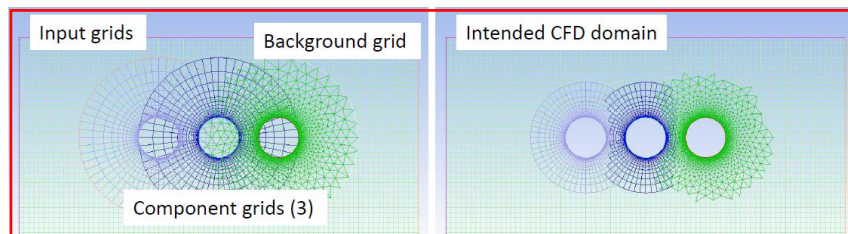
Mass	1129.9489 kg			
Volume	0.7613m ³			
Center of mass	(4.4195, 0.053, 0.0002)m			
Total surface area	38.4594m ²			
Principal moment and axis	176.6082 kg·m ² (1, -0.00251, 0.00005)			
Principal moment and axis	4859.503 kg·m ² (0.00251, 0.99895, 0.0457)			
Principal moment and axis	4860.3357 kg·m ² (-0.00016, -0.0457, 0.99896)			
Known relative accuracy %	0.001			
	176.6082	176.6082	-0.44329	0.00883
	4859.503	12.1973525	4854.401	222.0793
	4860.336	-0.7776537	-222.117	4855.281
		ixx	ixy	ixz
		iyx	iyy	iyz
		izx	izy	izz

ข.3 ขั้นตอนการตี Mesh 3 มิติ

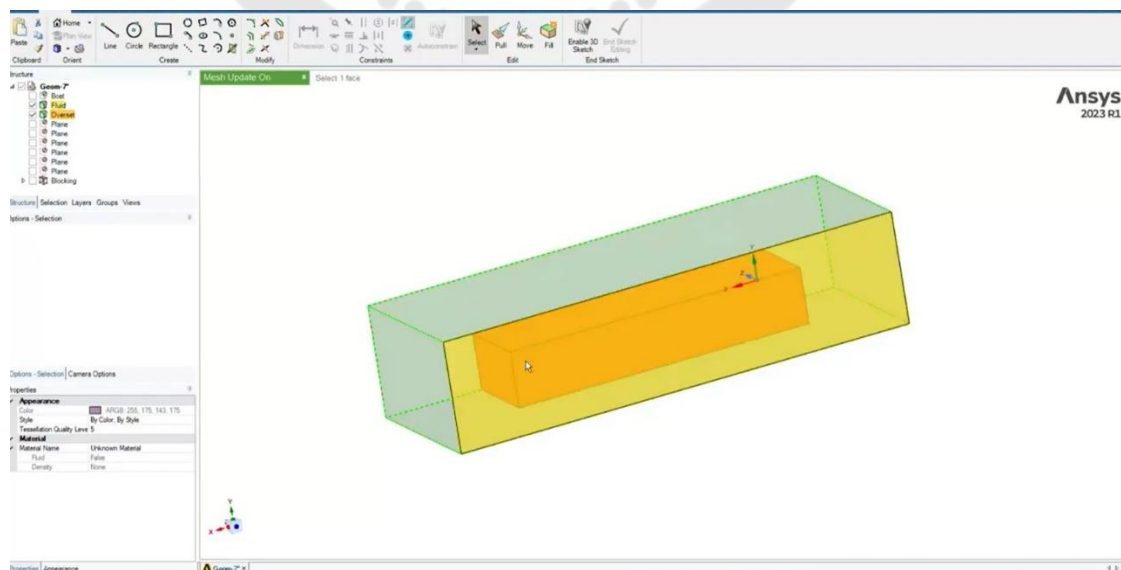
ข.3.1 การตี Mesh จะต้องทำการศึกษารูปแบบการตี Mesh ให้เหมาะสมกับรูปแบบในการวิเคราะห์ งานวิจัยนี้ตี Mesh เป็น 2 domain โดยมี Mesh ที่เป็น Background อยู่ด้านหลัง และ Mesh ที่เป็น Component อีกหนึ่งชุด ข้อดีของการทำ Mesh ในรูปแบบนี้คือ โอกาสเกิด error น้อย เพราะ Mesh อยู่คงที่ตลอดทุกอัน ผลที่ได้คือจะตัด Mesh ที่ทับซ้อนกันในส่วนที่ไม่ได้ใช้ และจะจัดเรียงส่วนที่เชื่อมต่อกันระหว่างตัว Background และ Component

What is overset (chimera) meshing?

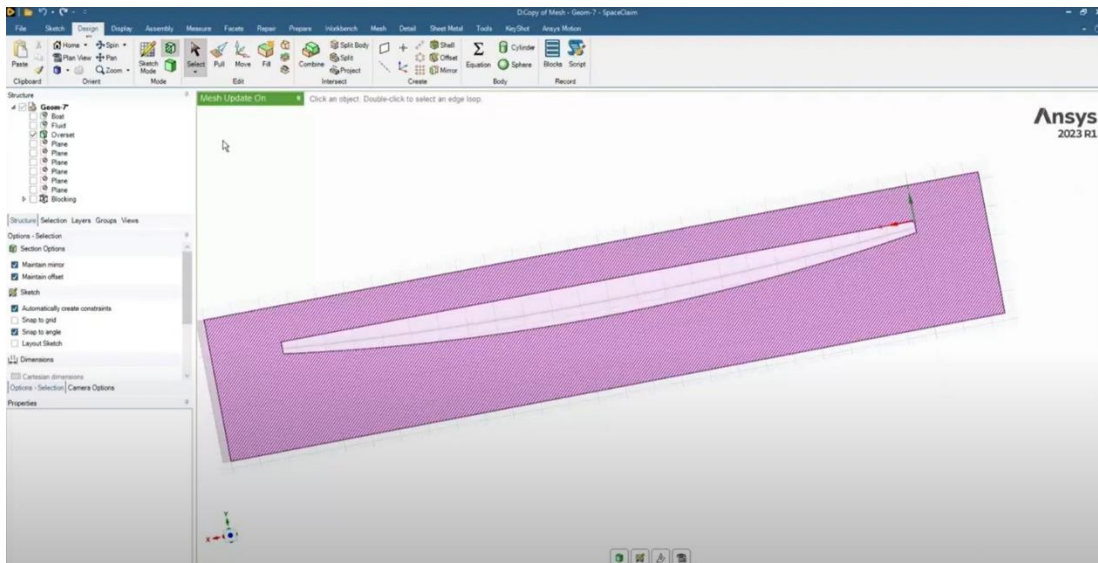
- Method to build up computational domain from parts during simulation
 - Multiple overlapping cell zones connected by overset interface
 - Parts are meshed individually and embedded in a background mesh
 - Connectivity is established by interpolating cell data in overlapping regions



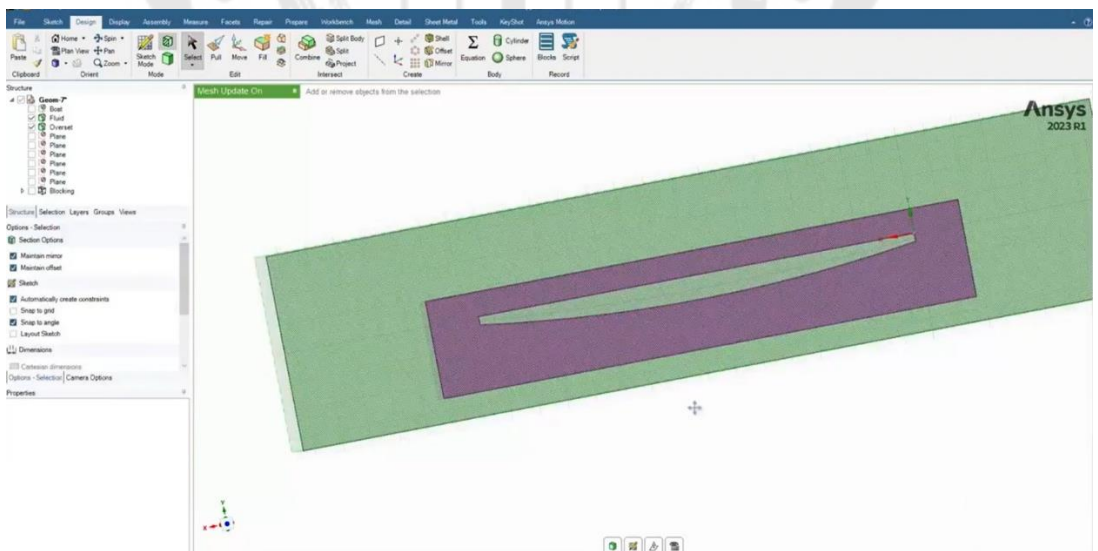
ข.3.2 เลือก Geometry สร้าง domain 2 ชุด คือ ชุดแรกเป็น domain ของน้ำกับอากาศ และชุดที่สองเป็น domain ของเรือ โดยทำการสร้างกล่องครอบ Model ของเรือ (Overset)



ข.3.3 ใช้คำสั่ง Combine Model กล้อง แล้วตัด Model เรือ



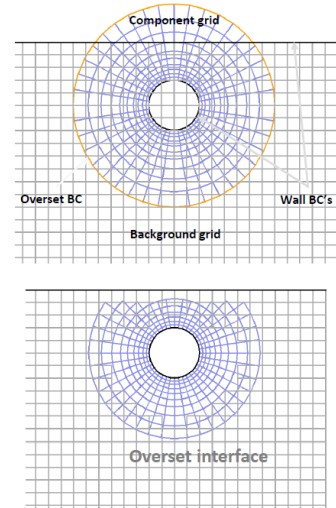
ข.3.4 สร้าง Model ของ Background ซึ่งเป็น domain ของน้ำกับอากาศ



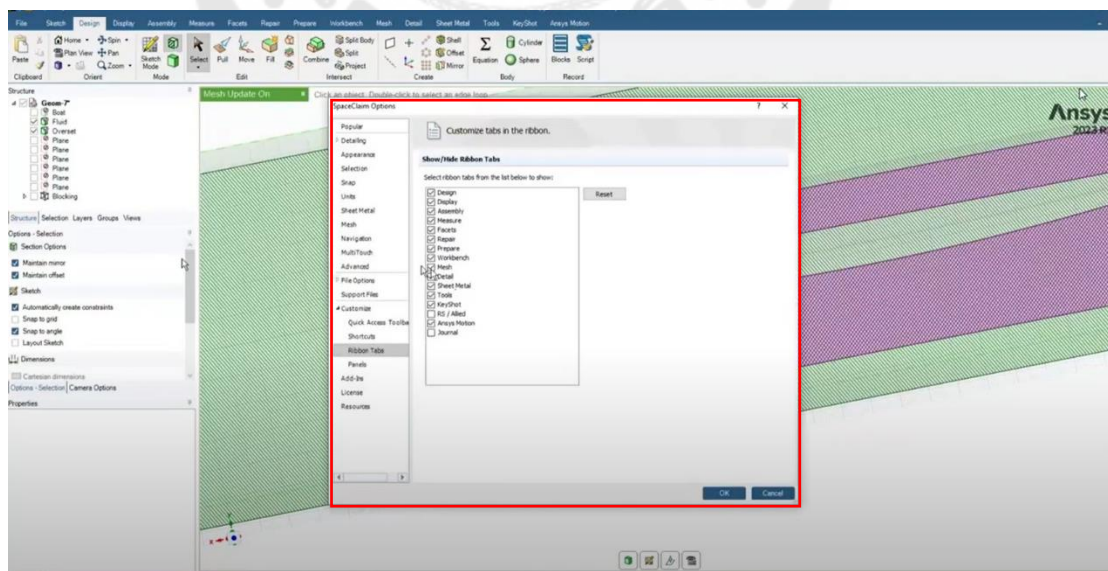
ช.3.5 โดยแต่ละ domain มีข้อกำหนดช่องว่างแต่ละ Mesh อย่างน้อย 4 ช่องระหว่าง domain ของ Component (เรือ) กับ domain ของ Background (น้ำกับอากาศ) หากช่องว่างระหว่าง Mesh(กล่องสี่เหลี่ยม) น้อยจะทำให้เกิด error

Overset terminology

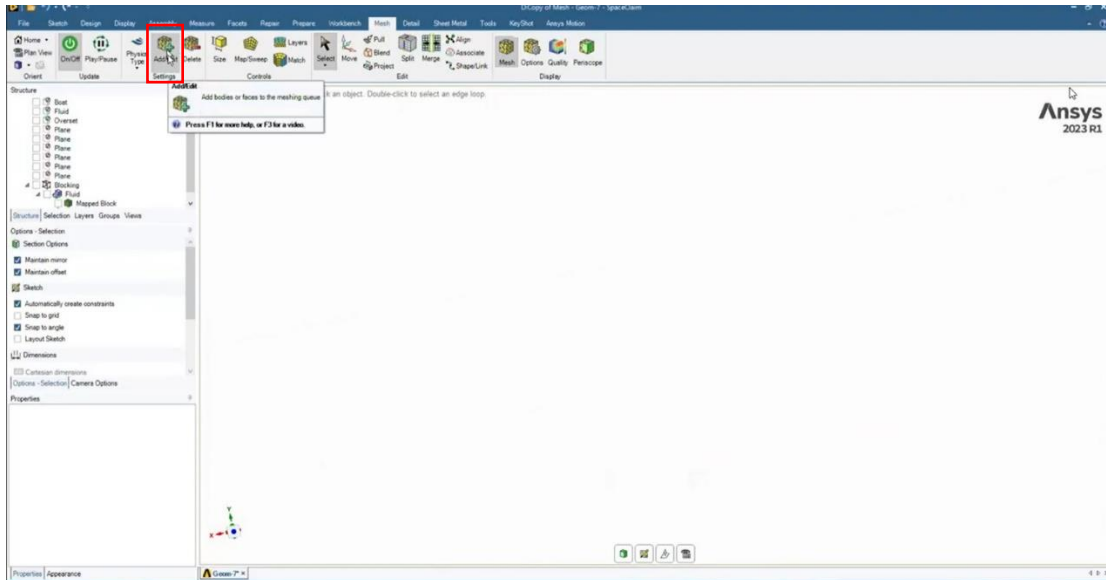
- **Overset interface**
 - Pairs one or multiple **component** grids with one or multiple **background** grids
- **Background grid**
 - Cell zone which does *not* have a boundary zone of type **overset**
 - Multiple background grid zones have to be *conformally* connected
- **Component grid**
 - Cell zone which has *at least one* boundary of type **overset**
- **Overset boundary**
 - Boundary condition to designate where component grid is *intended to communicate* with other grids



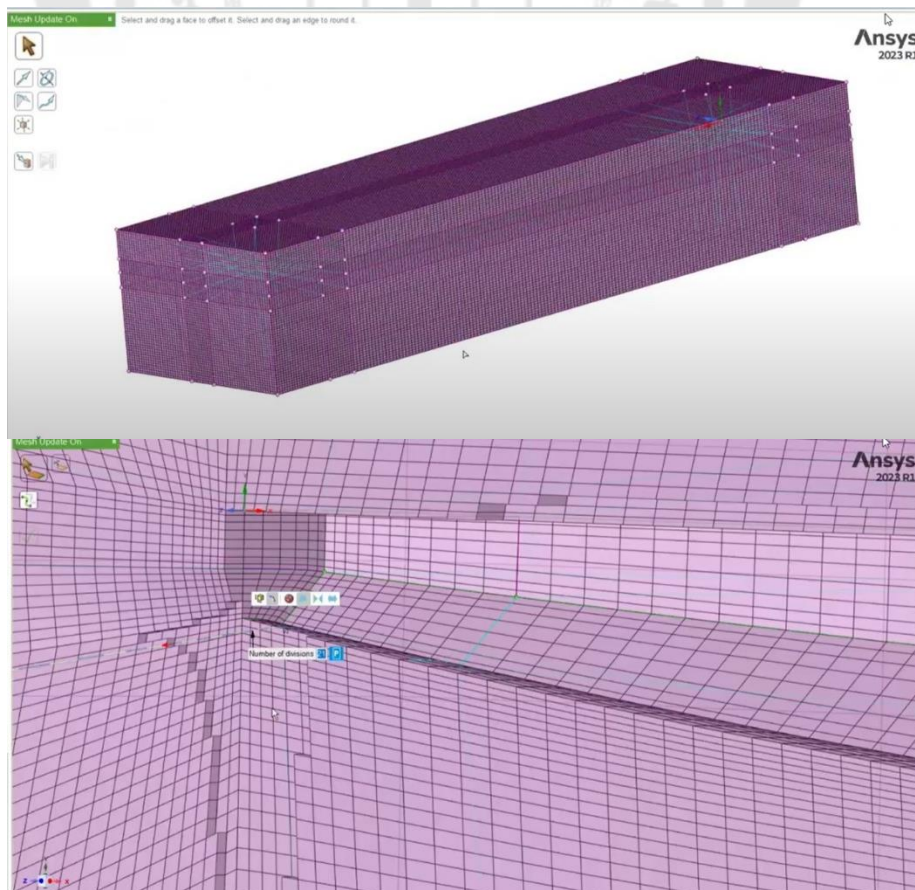
ช.3.6 ทำการติ Mesh ด้วยวิธี Blocking Mesh โดยใช้ SpaceClaim Mashing เลือก SpaceClaim Mashing เลือก SpaceClaim Option จากนั้นเลือก Customize เลือก Ribbon Tabs คลิกเลือก Mesh จากนั้นคลิก Ok



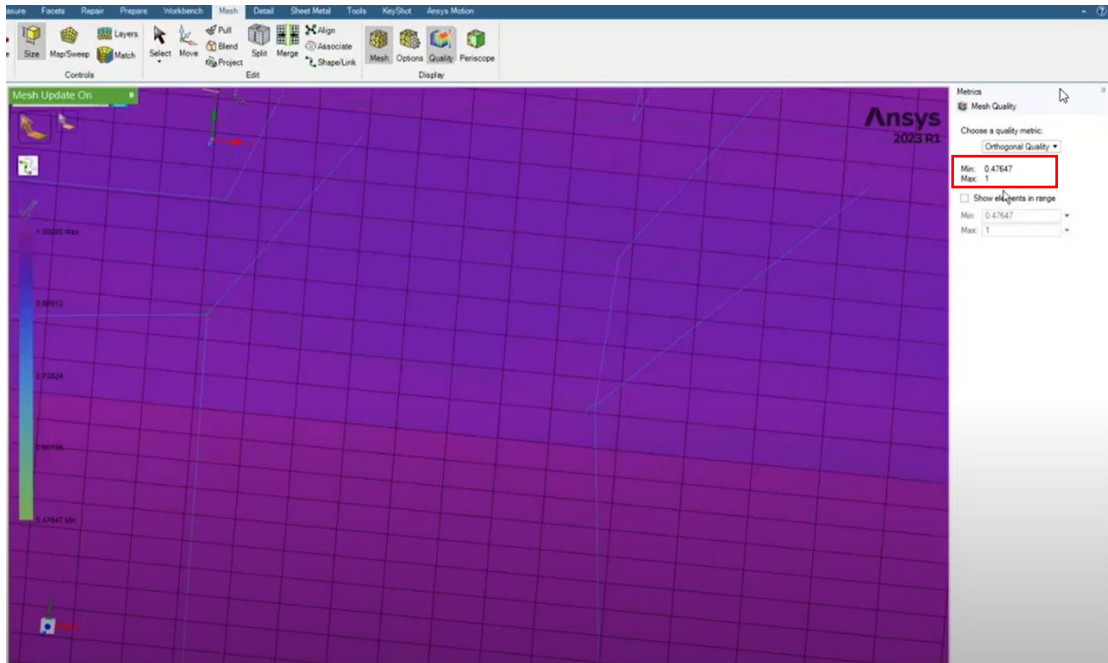
ข.3.7 เลือก Physics ที่ใช้คือ Fluent และเลือก Add Component ที่ใช้โดย add ที่ตัว
 เจ็อก่อน จากนั้น add ที่ Background



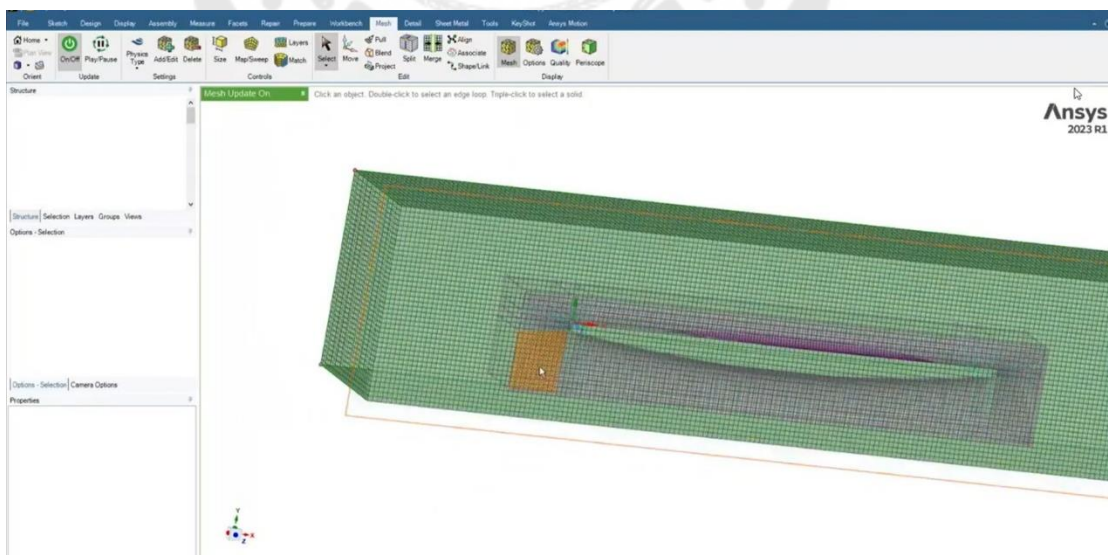
ข.3.8 ตี Mesh domain เร็ว โดยทำการแบ่งช่อง Blocking ออกมาหลาย ๆ ช่อง
 กำหนดแต่ละช่องให้มีจำนวนตามต้องการ



ช.3.9 การตี Mesh ในรูปแบบนี้จะให้ค่าคุณภาพของ Mesh สูง โดยมีค่าคุณภาพของ Mesh เท่ากับ 0.47647 เมื่อเทียบกับการตี Mesh อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งได้ค่าคุณภาพของ Mesh เพียง 0.2 จึงถือว่าการตี Mesh ในรูปแบบนี้เป็น Mesh ที่มีคุณภาพดีมาก

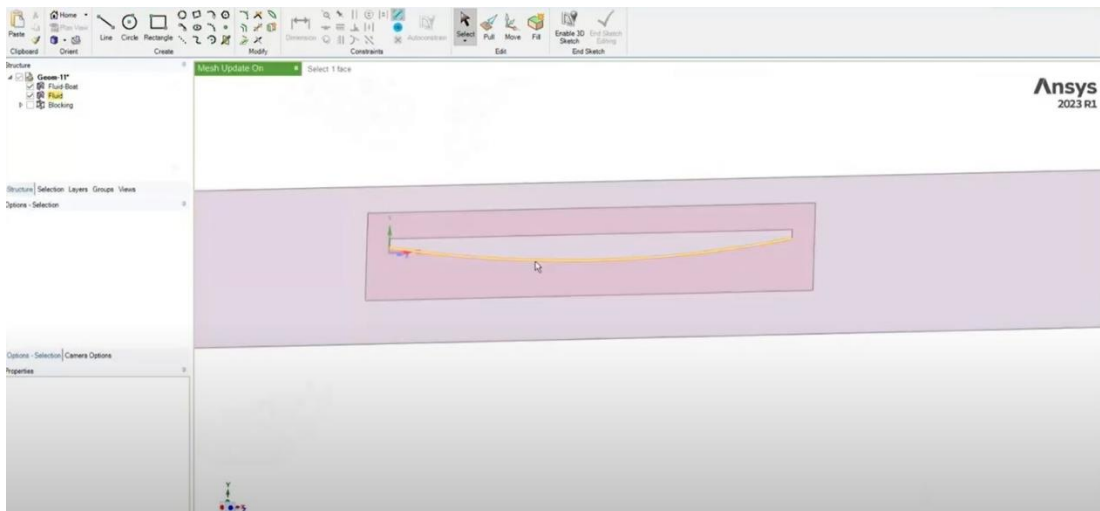


ช.3.10 ตี Mesh domain background (น้ำกับอากาศ) จะได้ Mesh ที่ทับซ้อนกัน

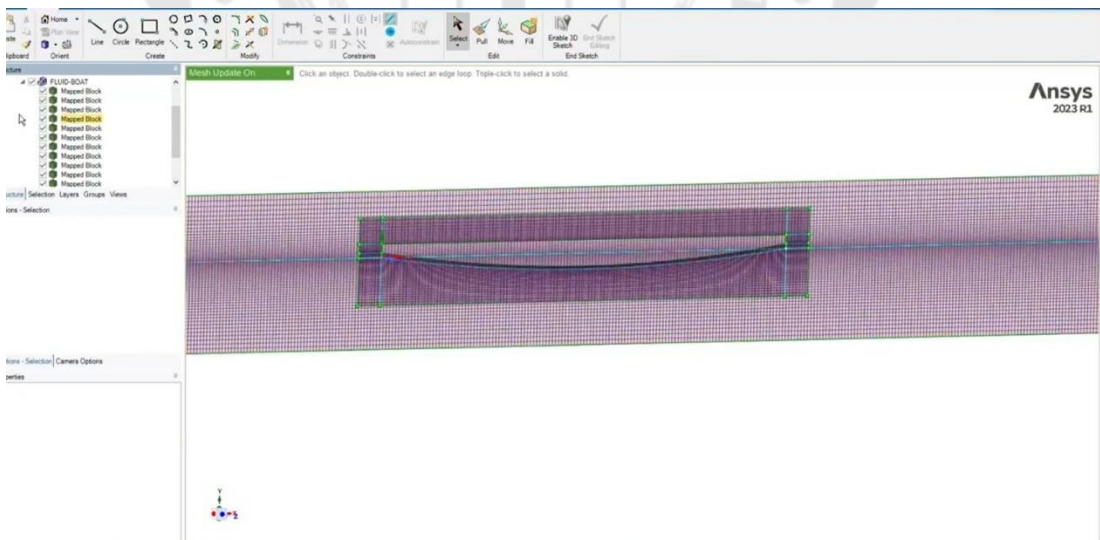


ช.3 ขั้นตอนการตี Mesh 2 มิติ

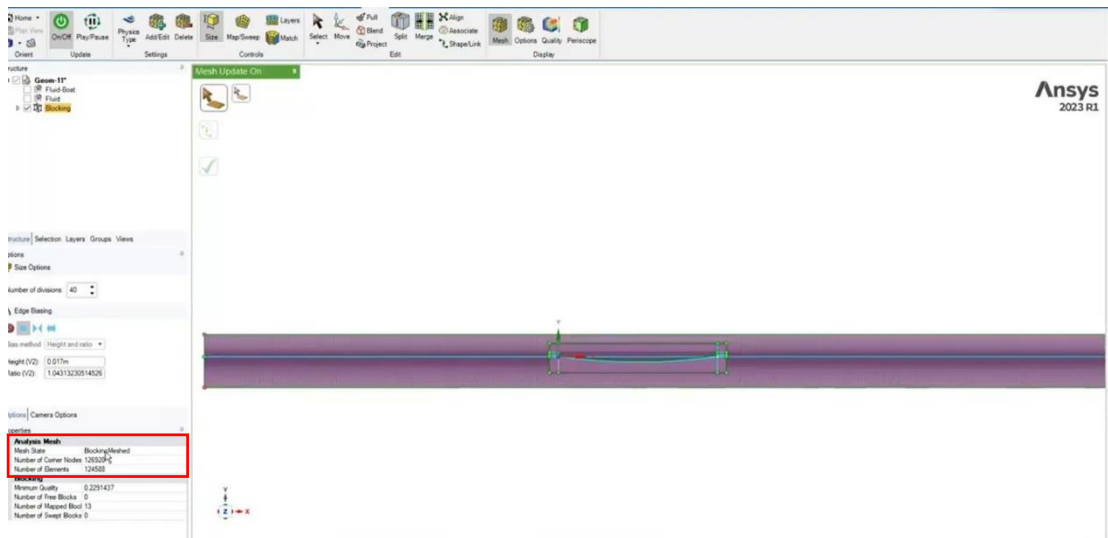
ช.3.1 เปิดโปรแกรม Ansys Workbench เลือก Geometry จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรม Ansys SpacClaim เลือก Model ที่เตรียมไว้ จากนั้นทำการสร้างกรอบเพื่อแบ่งโซนเรื่อกับโซนของไหล



ช.3.2 ทำการตี Mesh ด้วยวิธี Blocking Mesh

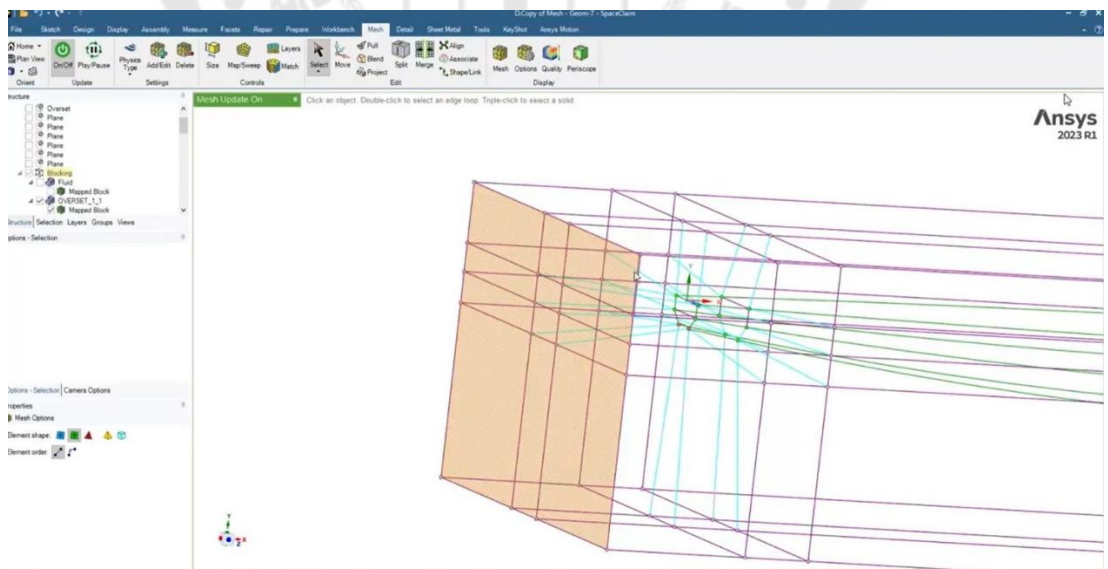


ช.3.3 จะได้ว่า Number of Element เท่ากับ 124,588

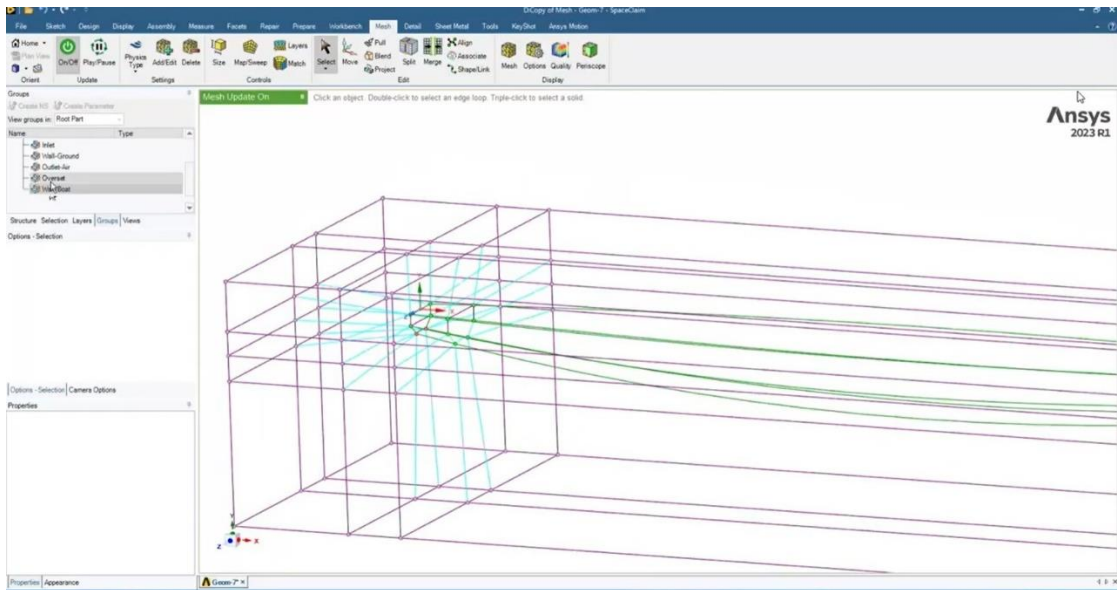


ช.5 ขั้นตอนการกำหนดชื่อ Domain

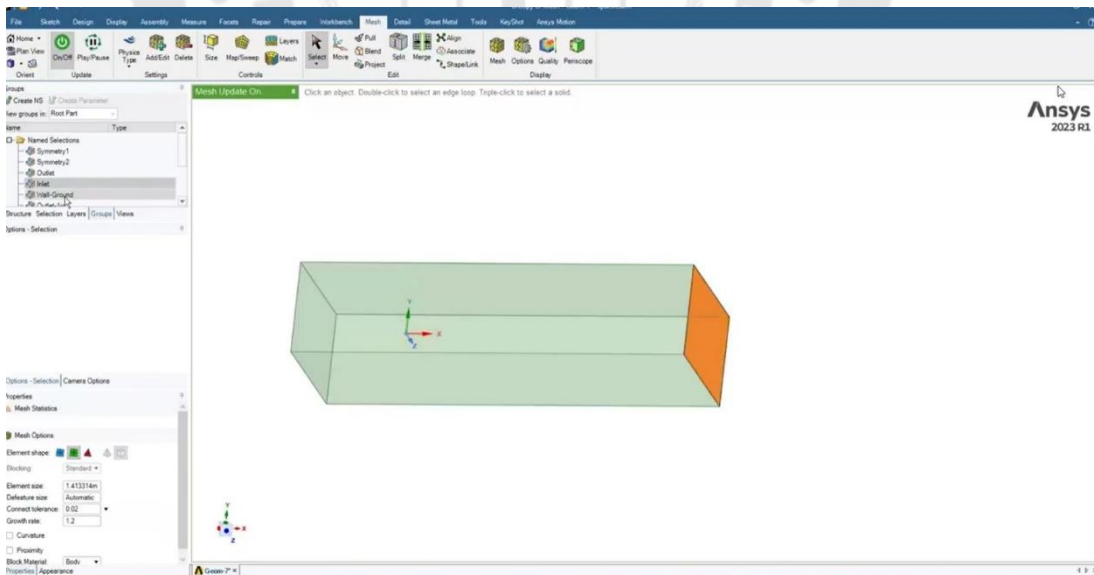
ช.5.1 กำหนดชื่อ Mesh domain ให้เป็น Overset



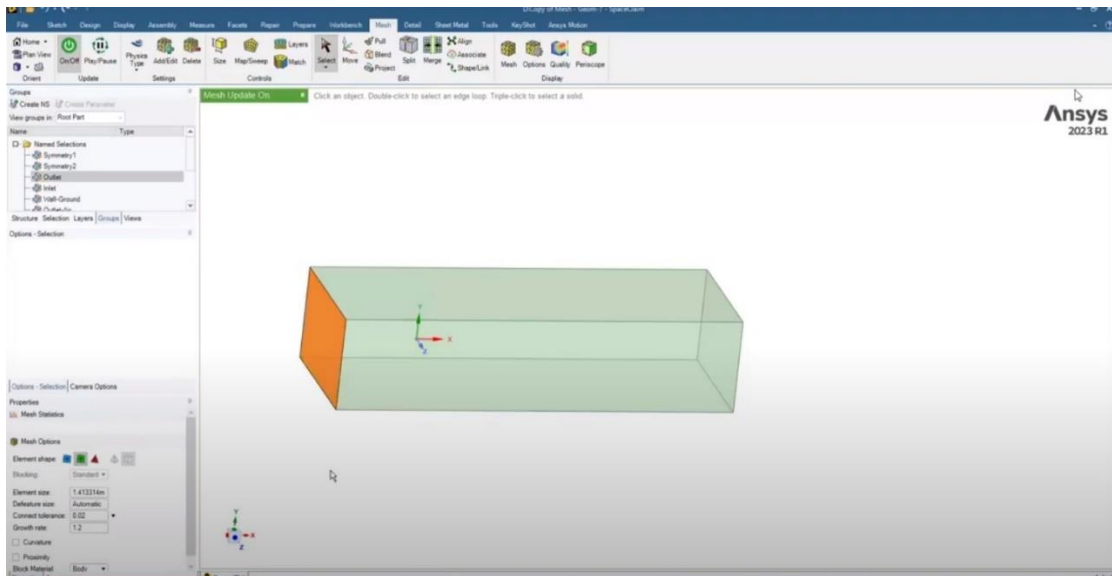
ข.5.2 กำหนดชื่อตัวเรือเป็น Wall-Boat



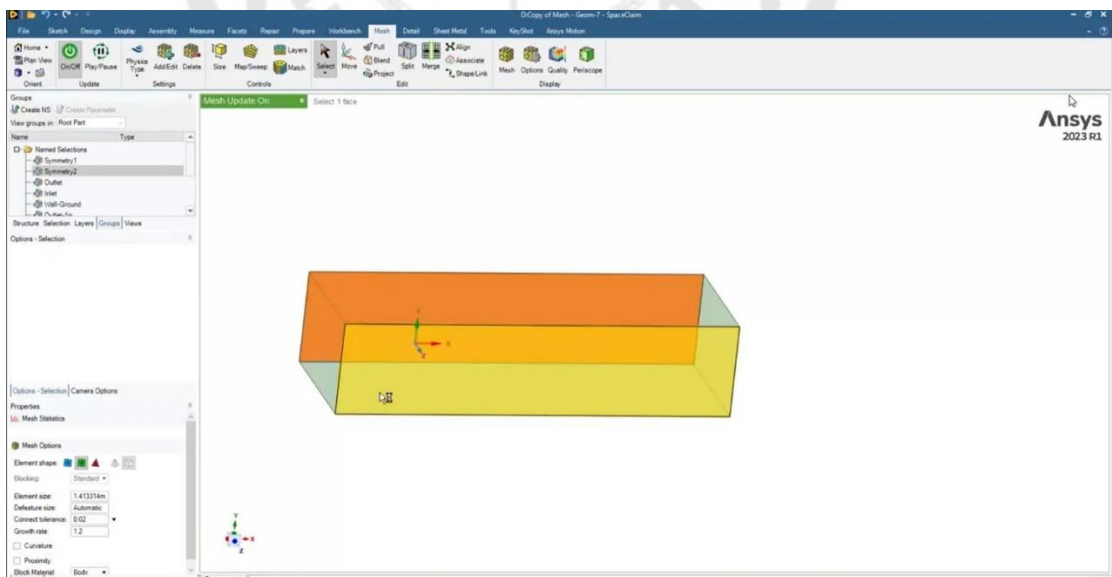
ข.5.3 กำหนดชื่อ domain background (น้ำกับอากาศ) ด้านขวา เป็น inlet



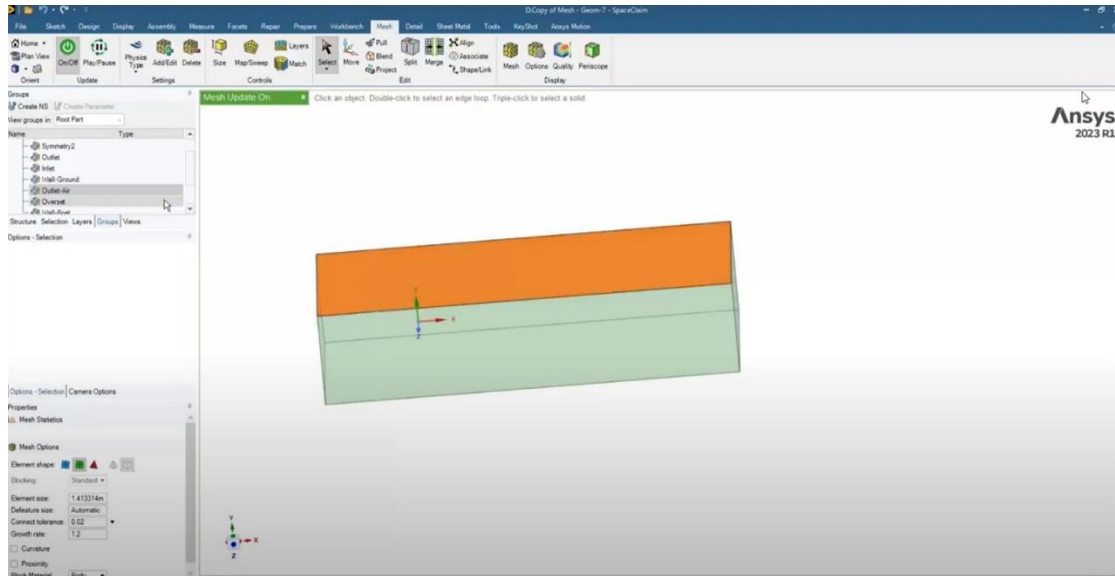
ข.5.4 กำหนดชื่อ domain background (น้ำกับอากาศ) ด้านซ้าย เป็น outlet



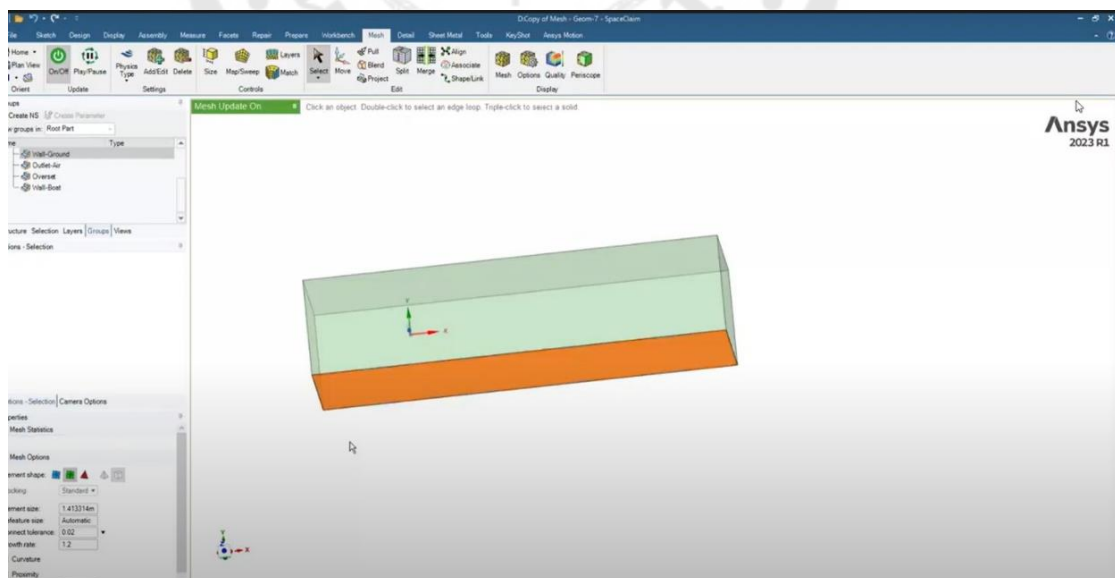
ข.5.5 กำหนดชื่อ domain background (น้ำกับอากาศ) ด้านข้างของ domain ทั้ง 2 ฝั่ง เป็น Symmetry เพื่อทำให้การคำนวณของโปรแกรมออกมาแม่นยำมากขึ้น ซึ่งการกำหนดในรูปแบบนี้เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับ External flow



ข.5.6 กำหนดชื่อ domain Background (น้ำกับอากาศ) ด้านบนเป็น Outlet air คือ อากาศสามารถกระจายออกไปด้านนอกได้

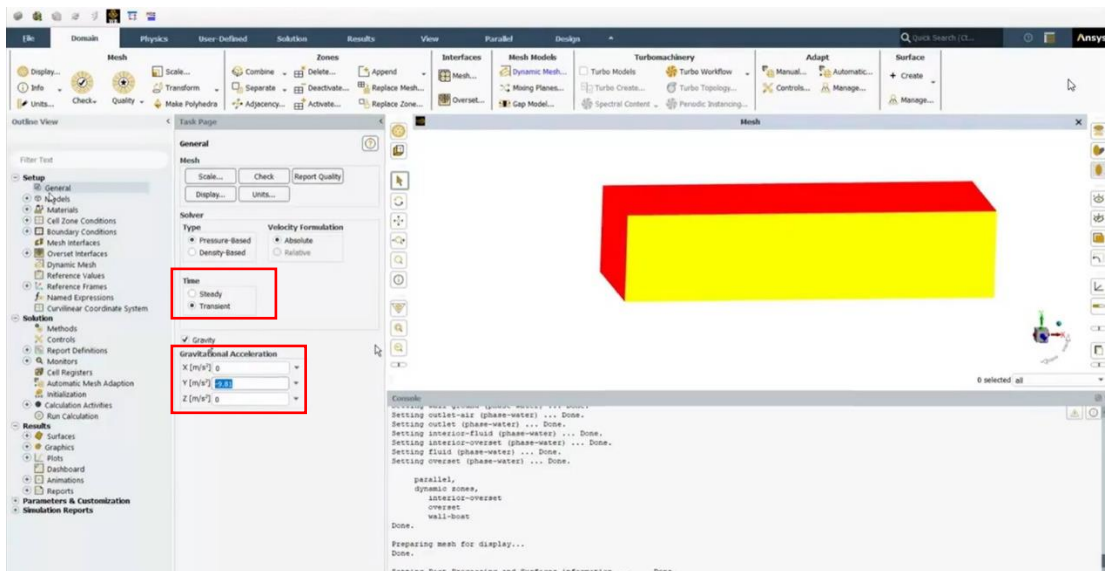


ข.5.7 กำหนดชื่อ domain Background (น้ำกับอากาศ) ด้านล่าง เป็น Wall Ground

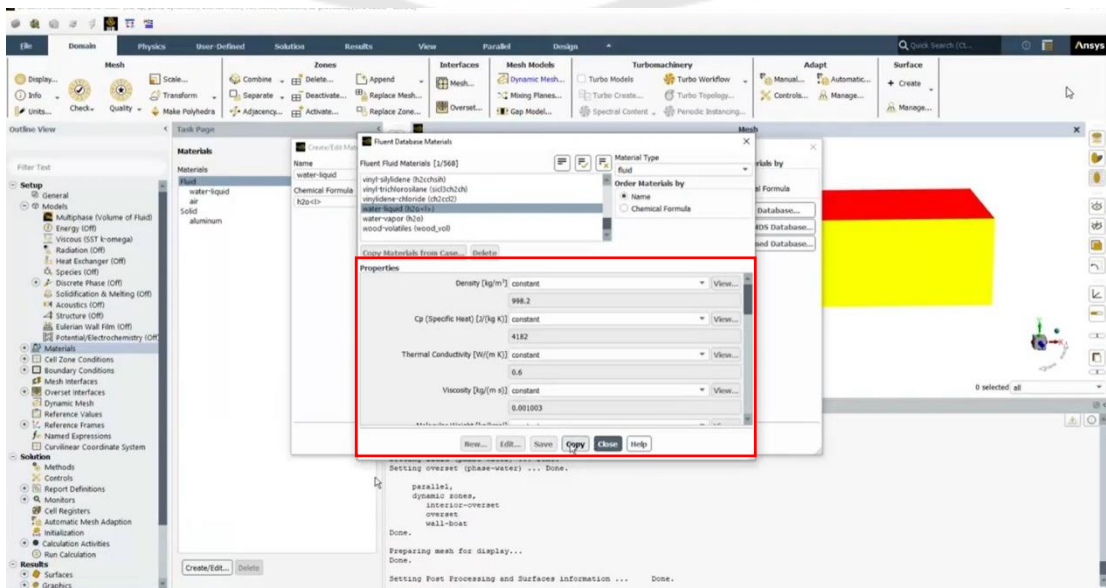


ข.6 ขั้นตอนการ Setup ใน Ansys Fluent

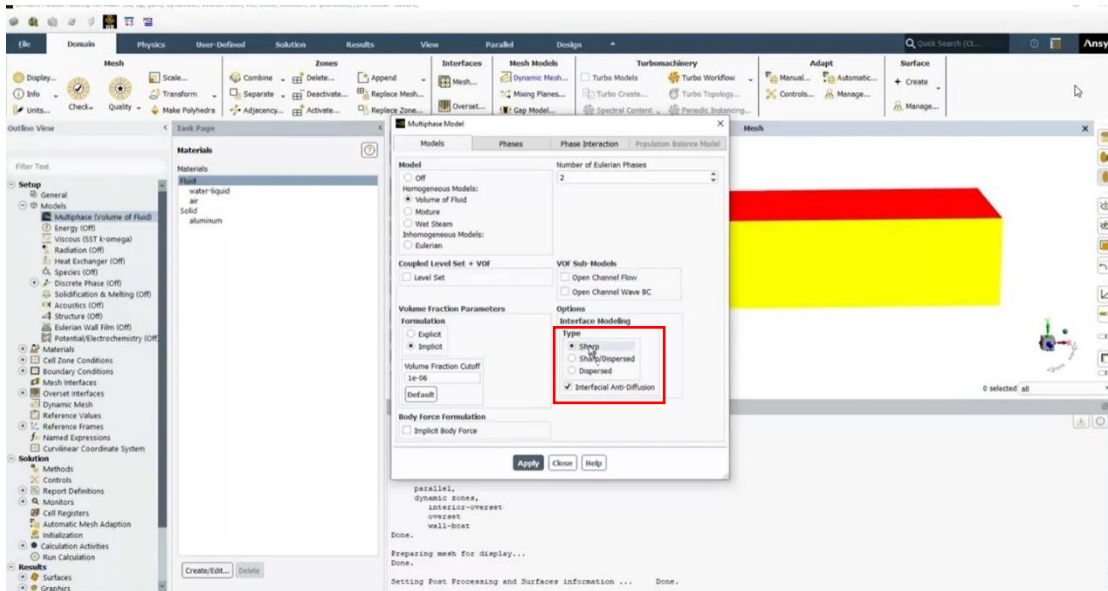
ข.6.1 ลากข้อมูลเข้าไปที่โปรแกรม Fluent คลิก Setup จะปรากฏ Model ในโปรแกรม จากนั้นเลือก Time เป็น Transient และกำหนดค่า Gravitational Acceleration ตำแหน่งแกน y เป็น -9.81 m/s^2



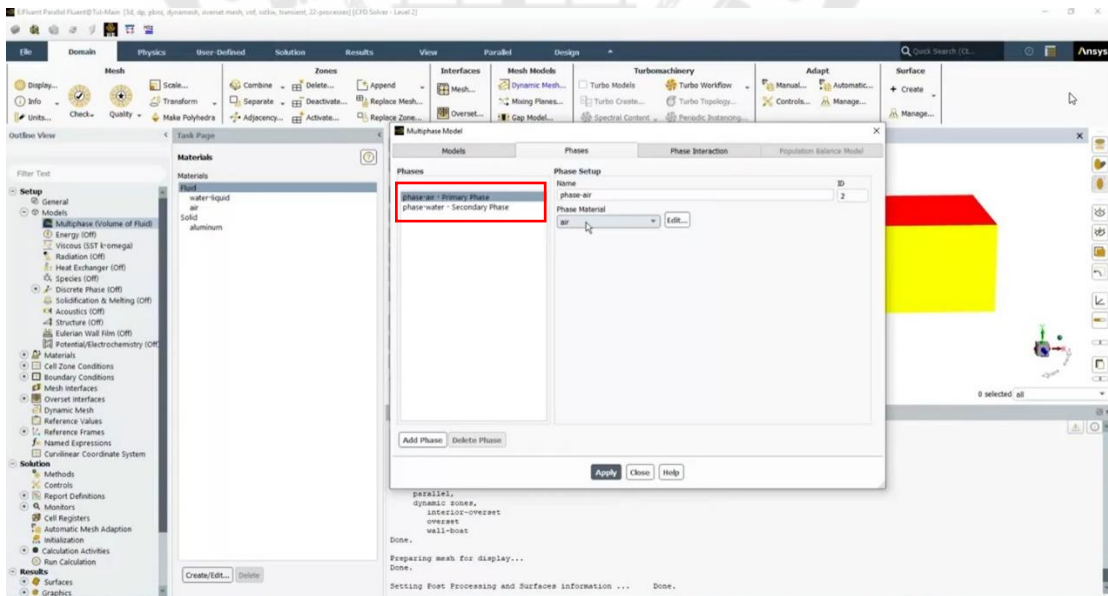
ข.6.2 กำหนดค่า Models เป็น Multiphase เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หิมิเฟสน้ำกับเฟสอากาศ โดยกำหนดค่า คุณสมบัติ Models โดยคลิกที่ Materials จากนั้นกำหนด Fluid เฟสน้ำเป็น water-liquid



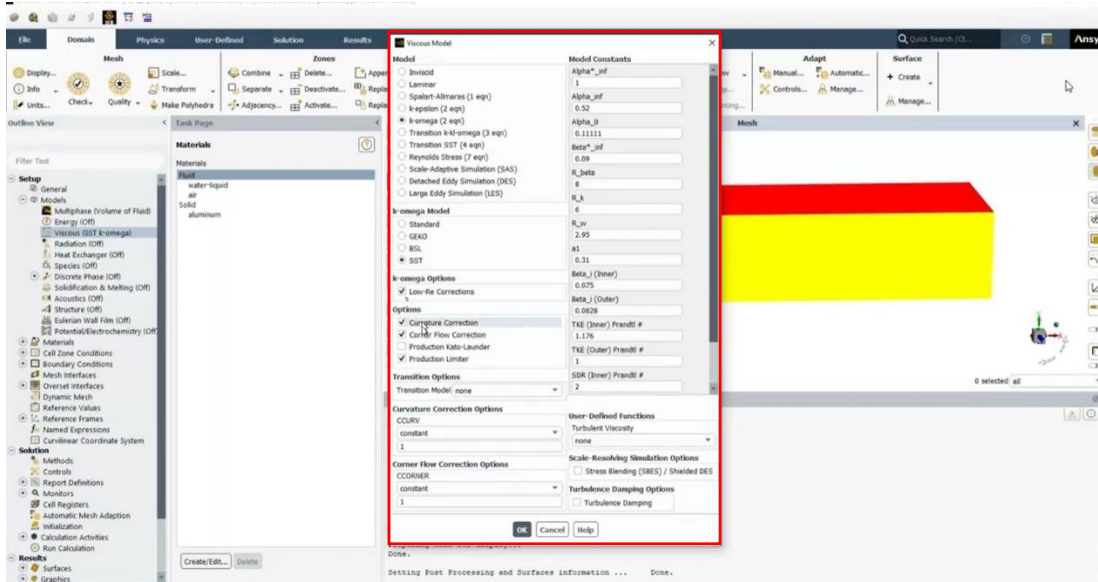
ข.6.3 คลิก Multiphase เลือก Sharp คือการ Interphase ระหว่าง Zone น้ำ กับ Zone อากาศ ที่แยกผิวชัดเจน จากนั้นคลิกเลือก Interfacial Anti-Diffusion ซึ่งจะช่วยให้การคำนวณออกมาแม่นยำมากขึ้น จากนั้นคลิก Apply



ข.6.4 คลิก Phases กำหนดให้ Primary Phases เป็นเฟสอากาศ และ Secondary Phases เป็นเฟสน้ำ คลิก Apply

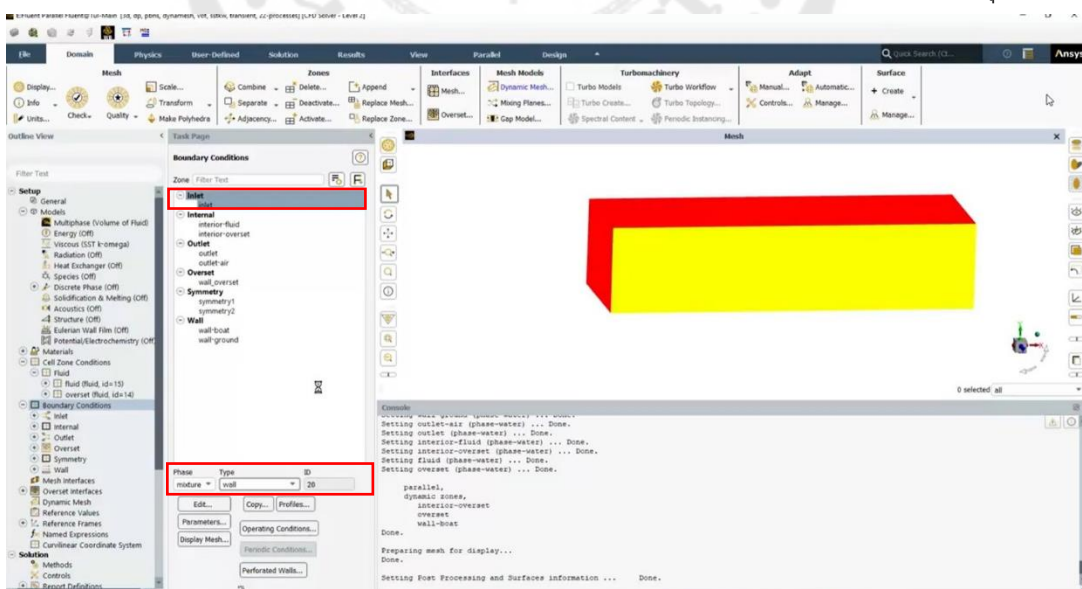


๗.6.5 คลิก Viscous Model จากนั้นคลิก Model k-omega คลิกเลือก Low-Re Correction , Curvature Correction , Corner Flow Correction และ Production Limiter

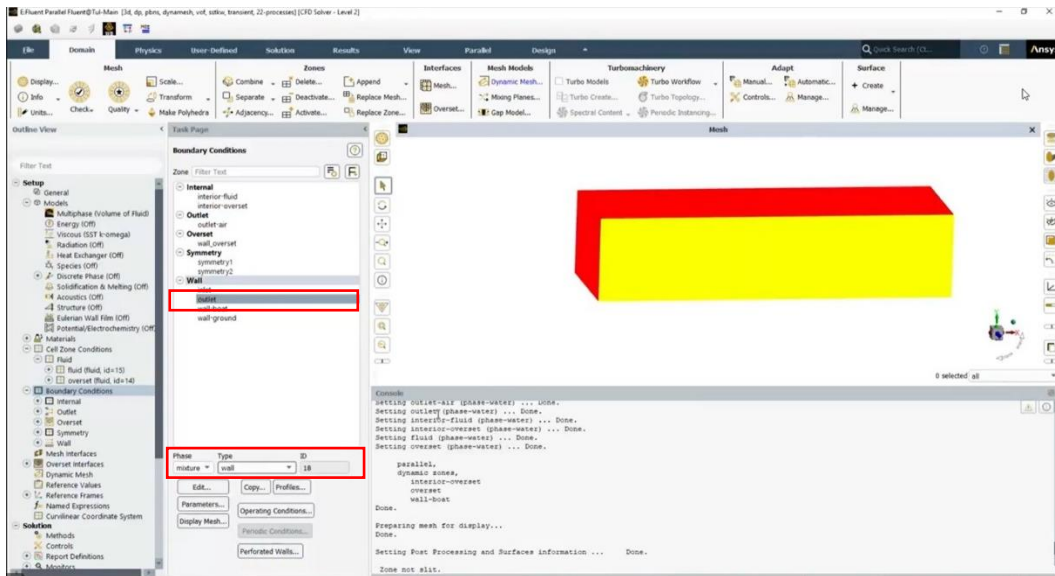


๗.7 ขั้นตอนการตั้งค่า Boundary Condition

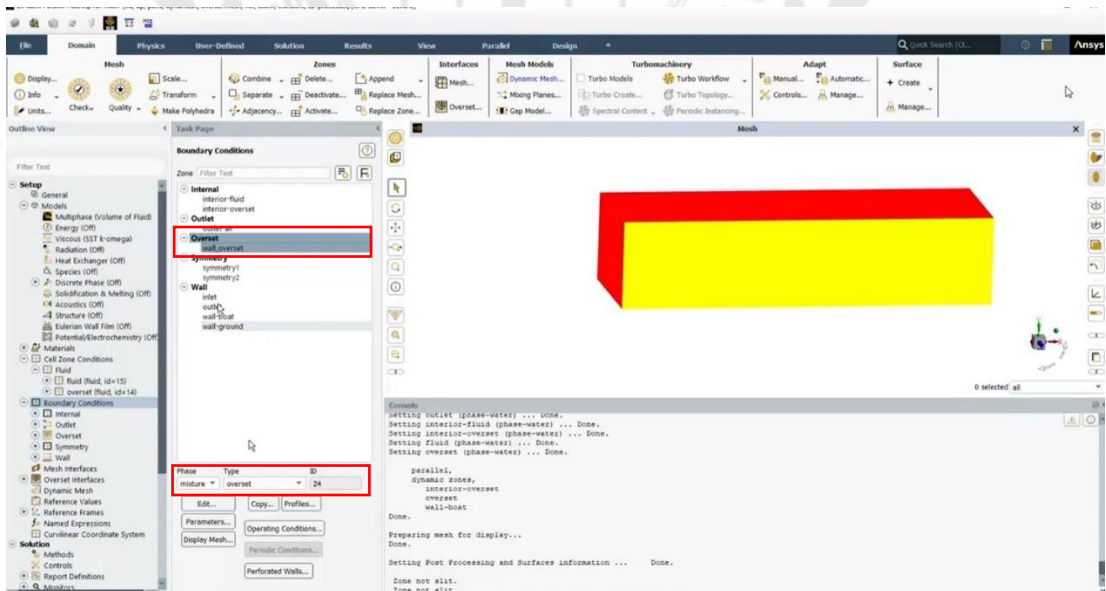
๗.7.1 ตั้งค่า Boundary Conditions คลิก Inlet กำหนดให้เป็น wall (ผนังทุกด้าน)



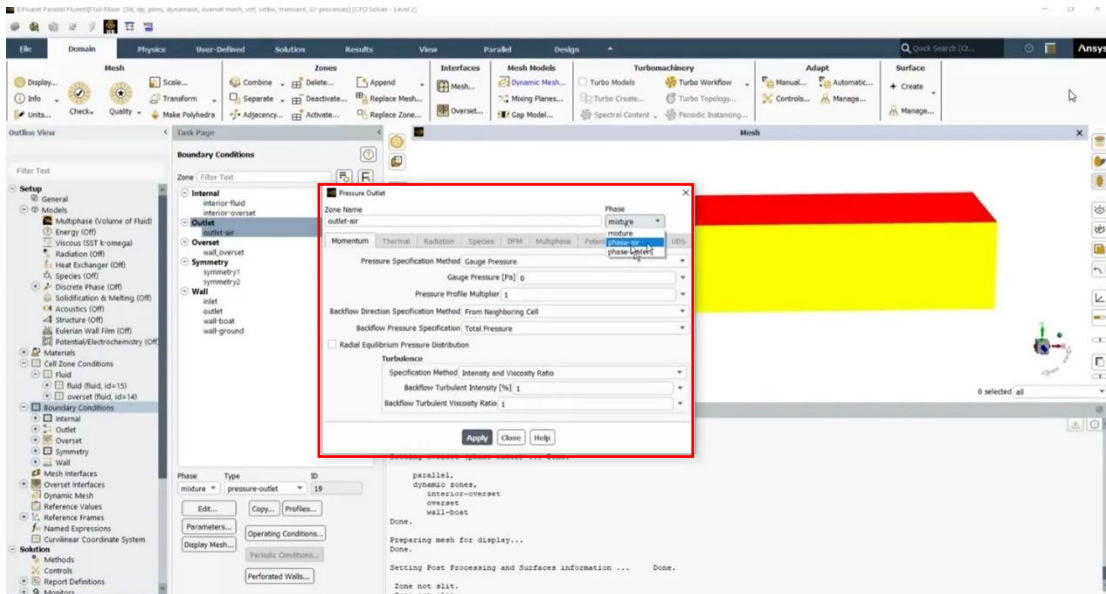
๗.7.2 ตั้งค่า Boundary Conditions คลิก Outlet กำหนดให้เป็น wall



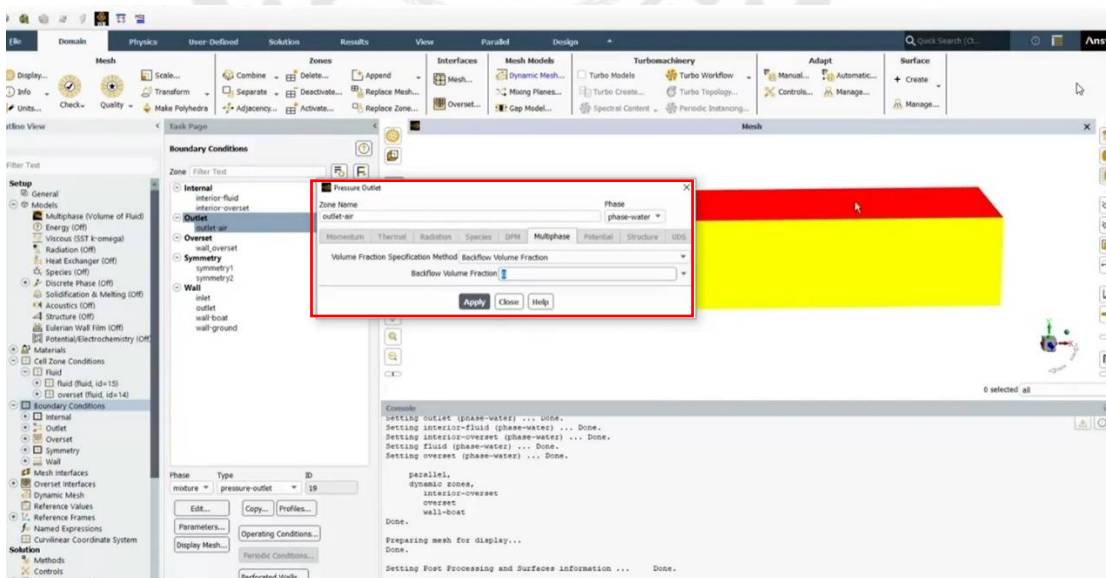
๗.7.3 ตั้งค่า Boundary Conditions คลิก wall เลือก wall-overset กำหนดให้เป็น overset



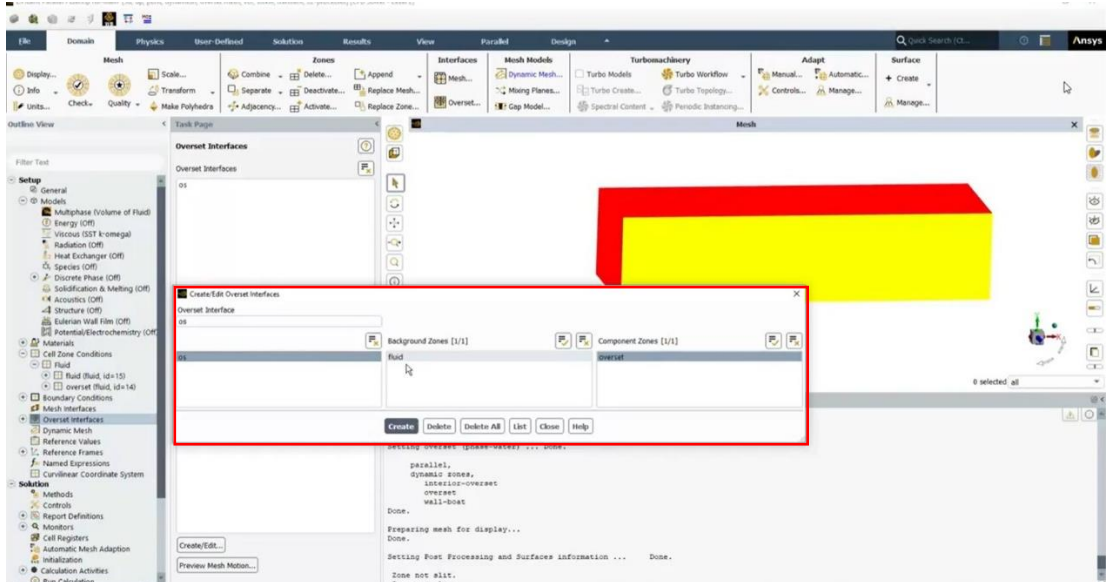
ข.7.4 ตั้งค่า Boundary Conditions คลิก Outlet-air เพื่อกำหนดให้มีอากาศเข้ามา
 อย่างเดียวในโปรแกรม การตั้งค่า Multiphase จะตั้งค่าได้เพียง Primary Phases เท่านั้น



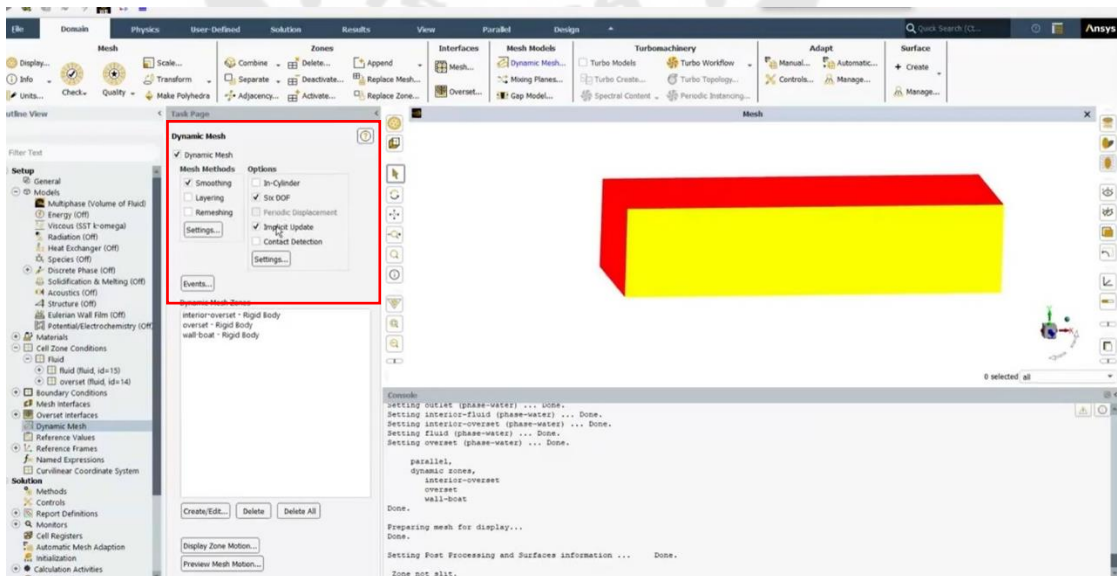
ข.7.5 กำหนดค่า Backflow Volume Fraction ให้เป็น 0 คือไม่มีน้ำเข้า ให้มีอากาศ
 เข้ามาอย่างเดียว



๗.7.6 สร้าง Overset Zone โดยคลิก Overset Interfaces กด Create จากนั้นทำการตั้งชื่อเป็น os แล้วคลิกเลือก Background และ Component Zone กด Create

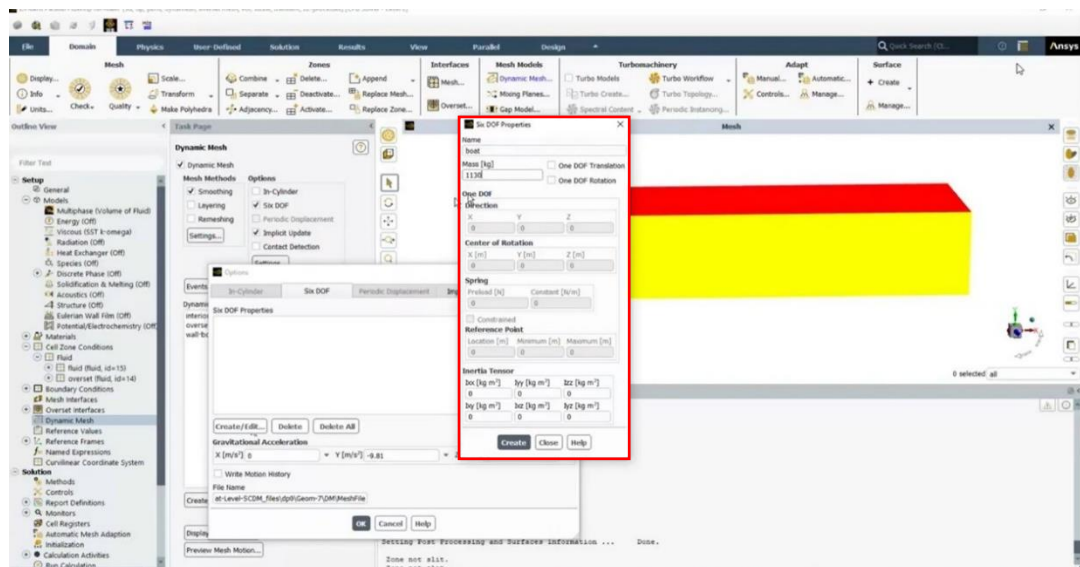


๗.7.7 ตั้งค่า Dynamic Mesh จากนั้นกดเลือก Smoothing Six DOF และ Implicit Update

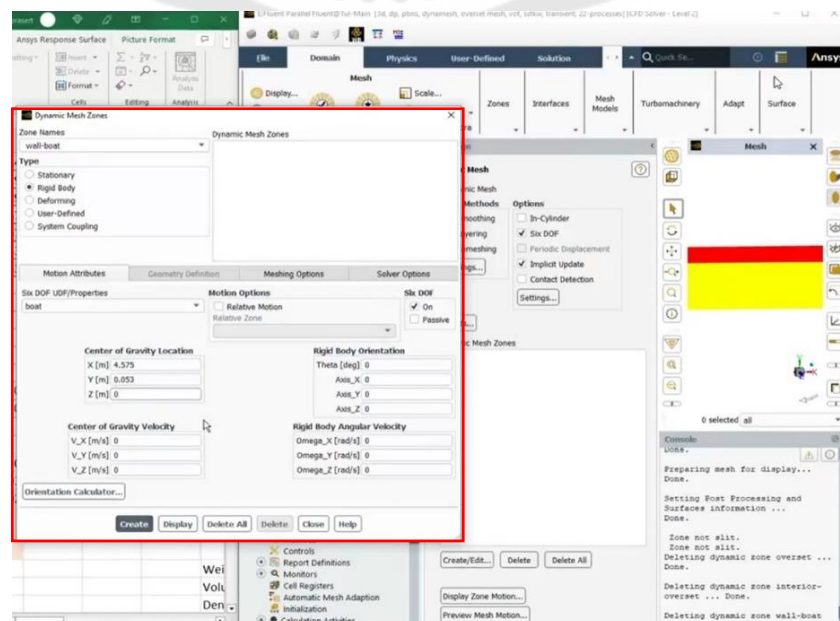


ข.8 ขั้นตอนการตั้งค่า Six DOF กรณีไม่ใส่แรง

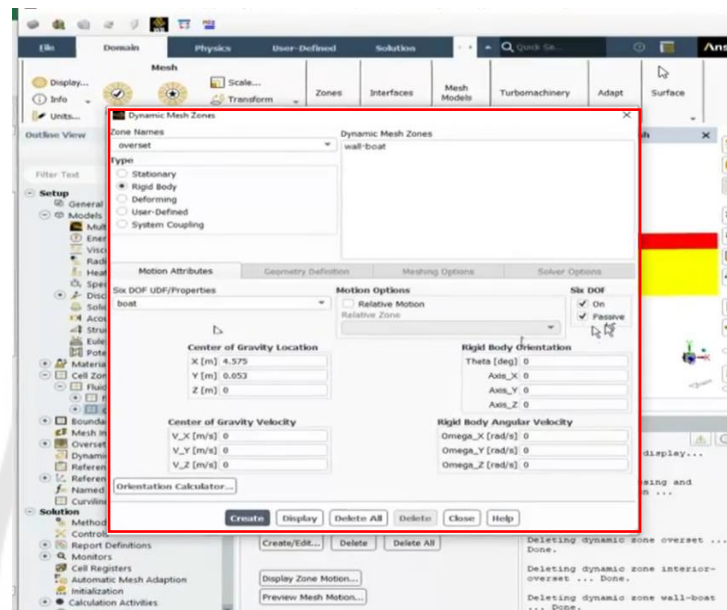
ข.8.1 การตั้งค่า Six DOF คือ การตั้งค่าให้ Component สามารถเคลื่อนที่ไปแกนไหนก็ได้ วิธีตั้งค่า Six DOF ในกรณีนี้จะใช้สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนัก โดยไม่ใส่แรงของนักพายเรือ ทำได้โดยคลิกที่ Setting จากนั้นคลิก Six DOF กด Create ทำการใส่ข้อมูลน้ำหนัก และ Moment of inertia ที่ได้จากโปรแกรม Ansys SpaceClaim กด Create จะได้คุณสมบัติของ Six DOF



ข.8.2 ตั้งค่า Dynamic Mesh Zone 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งของ Wall-boat (ผนังเรือ) กับตำแหน่งที่เป็น Fluid ของ Overset ทั้งหมด เลือกตั้งตำแหน่งของ Wall-boat โดยกด Properties เป็น boat จากนั้นนำค่า Center of mass ที่ได้จากโปรแกรม Ansys SpaceClaim มาใส่ใน Center of Gravity Location จากนั้น กด Create



ข.8.3 ตั้งค่า Dynamic Mesh Zone ตำแหน่งที่เป็น Fluid ของ Overset โดยเลือกกด Overset จากนั้นนำค่า Center of mass มาใส่เหมือนกับการตั้งค่าตำแหน่งของ Wall-boat แต่จะเพิ่ม Passive ใน Six DOF คือแรงกระทำที่ส่งผ่านตัว Component จะไม่มีผล โดยจะเคลื่อนที่ไหลตาม Wall-boat อย่างเดียว



ข.9 ขั้นตอนการตั้งค่า Six DOF กรณีใส่แรงใน 3 มิติ

ข.9.1 สร้างโค้ดคำสั่งใน Notepad โดยใส่ค่า Mass กับ Moment of inertia ที่ได้จากโปรแกรม Ansys SpaceClaim ใส่ค่า Max. Force Reaction กับ Moment ที่ได้จากโปรแกรม Static Structural ให้ออกมาในรูปแบบของสมการ Sine Wave จากสมการ

$$F(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi) + C$$

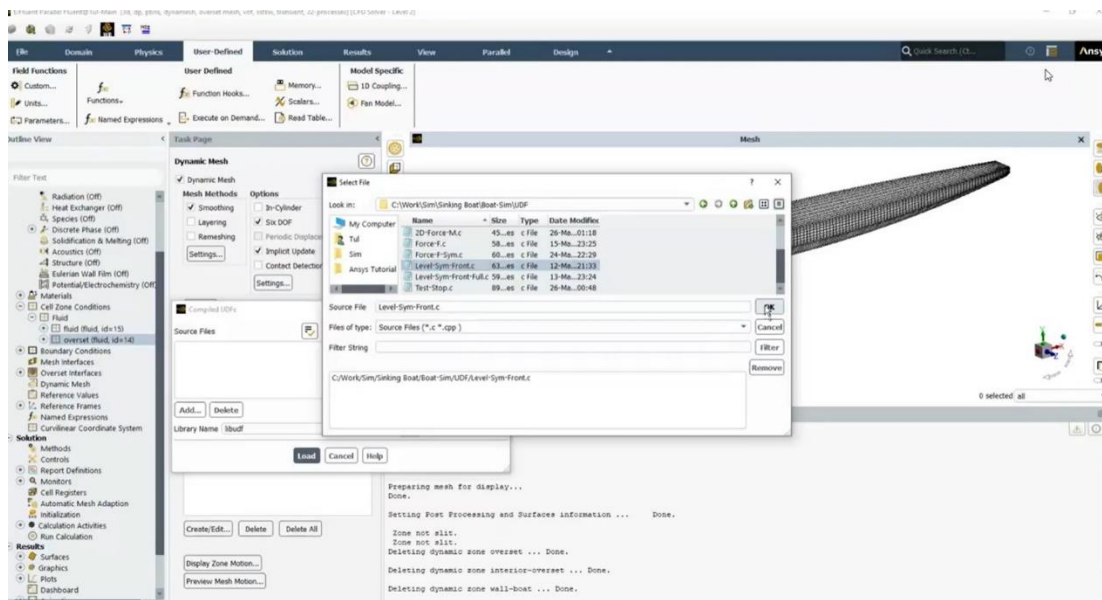
```

SDFOP property compiled UDF with external forces/moments
*****
#include "udf.h"
DEFINE_SDOF_PROPERTIES(LevelSymFront, prop, dt, time, dtime)
{
    prop[SDOF_MASS] = 1130.933767;
    prop[SDOF_IXX] = 0;
    prop[SDOF_IYY] = 0;
    prop[SDOF_IZZ] = 4859.021;
    prop[SDOF_IXY] = 0;
    prop[SDOF_IXZ] = 0;
    prop[SDOF_IYZ] = 0;

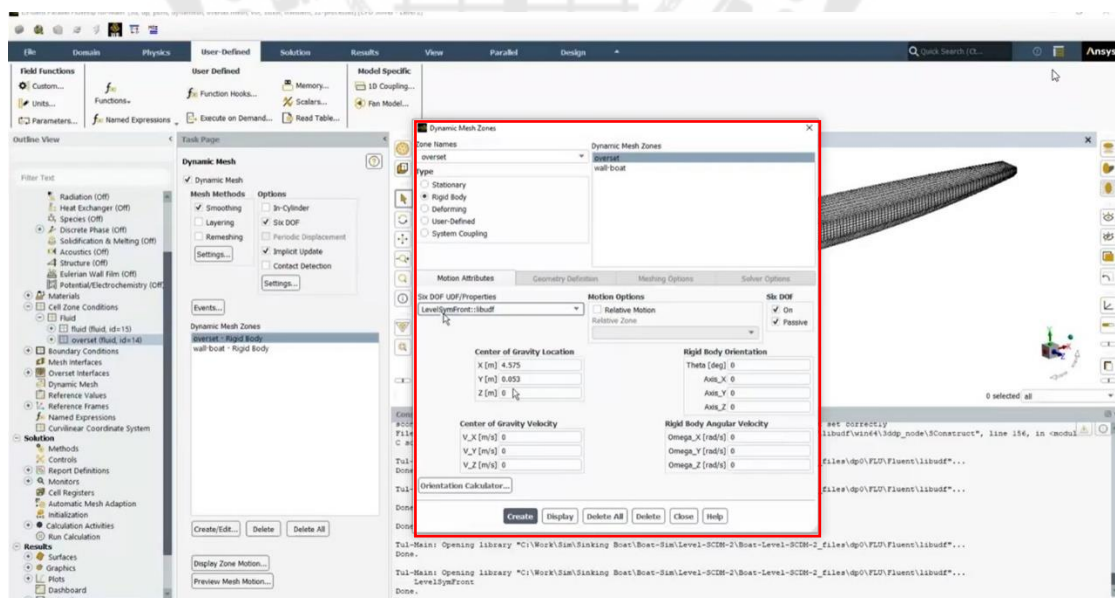
    prop[SDOF_ZERO_TRANS_X] = TRUE;
    prop[SDOF_ZERO_TRANS_Y] = FALSE;
    prop[SDOF_ZERO_TRANS_Z] = TRUE;
    prop[SDOF_ZERO_ROT_X] = TRUE;
    prop[SDOF_ZERO_ROT_Y] = TRUE;
    prop[SDOF_ZERO_ROT_Z] = FALSE;
}

```

ข.9.2 ใส่โค้ดคำสั่งใน Properties ทำโดยการเลือก Function กด Compiled กด add จากนั้นเลือกโค้ดที่สร้างไว้ คลิกเลือก Use Built-In Compiler แล้วกด Build จากนั้น load จะได้ค่าคุณสมบัติของโค้ดที่เลือกไว้



ข.9.3 ตั้งค่า Dynamic Mesh Zone 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งของ Wall-boat (ผนังเรือ) กับตำแหน่งที่เป็น Fluid ของ Overset ทั้งหมด โดยกด Properties ของโค้ดที่ใส่ไว้



ข.10 ขั้นตอนการตั้งค่า Six DOF กรณีใส่แรงใน 2 มิติ

ข.10.1 สร้างโค้ดคำสั่งใน Notepad โดยใส่ค่า Mass กับ Moment of inertia ที่ได้จากโปรแกรม Ansys SpaceClaim ใส่ค่า Max. Force Reaction กับ Moment ที่ได้จากโปรแกรม Static Structural ให้ ออก มา ใน รูป ข ของ สม ก าร Sine Wave จาก สม ก าร $F(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi) + C$ จากนั้นทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ ข.9.2 - ข.9.3

```

2D-Force-B
File Edit View

/*****
SDOF property compiled UDF with external forces/moments
*****/

#include "udf.h"

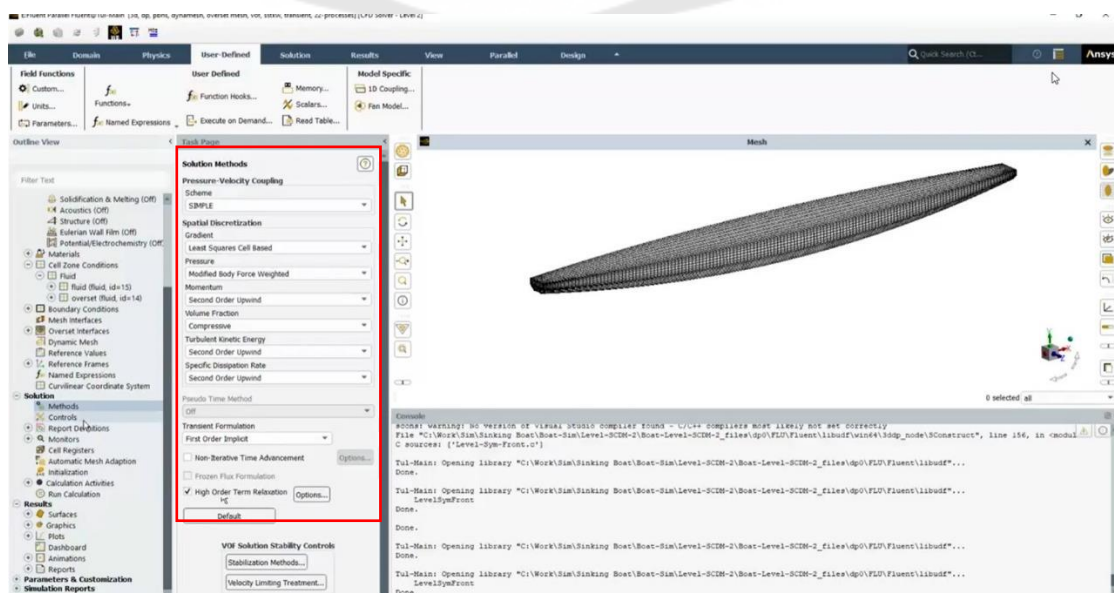
DEFINE_SDOF_PROPERTIES(ForceB, prop, dt, time, dtime)
{
    prop[SDOF_MASS] = 1303.55;
    prop[SDOF_IZZ] = 4855.281;

    prop[SDOF_LOAD_F_X] = 939.0*sin((7.97774*time) -1.5708) + 939.0;
    prop[SDOF_LOAD_M_Z] = -86.11*sin((7.97774*time) -1.5708) -86.11;
}

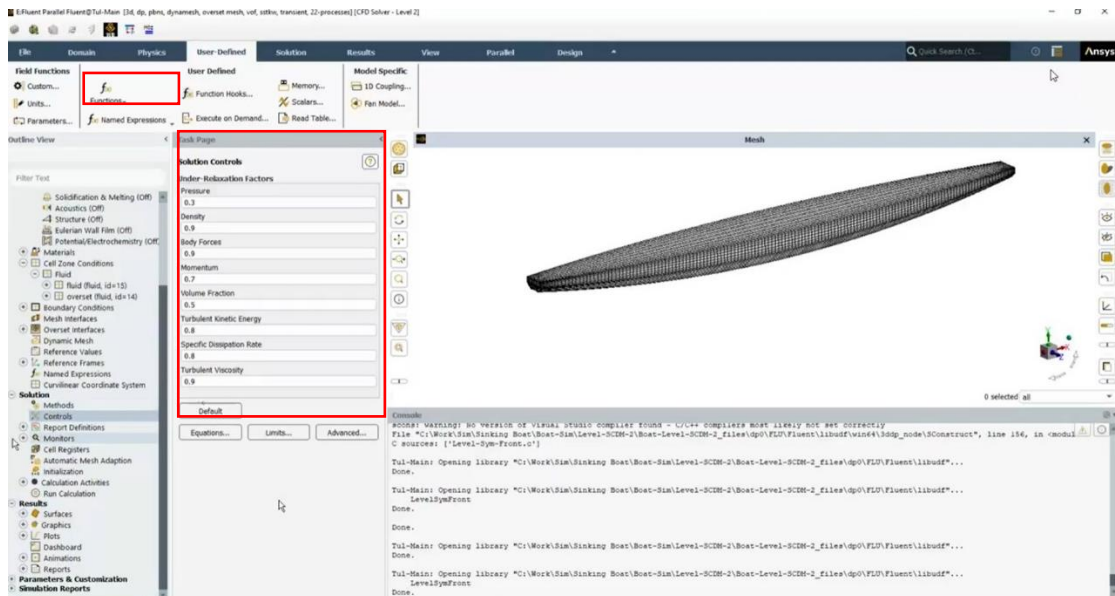
```

ข.11 ขั้นตอนการตั้งค่า Solution Numerical

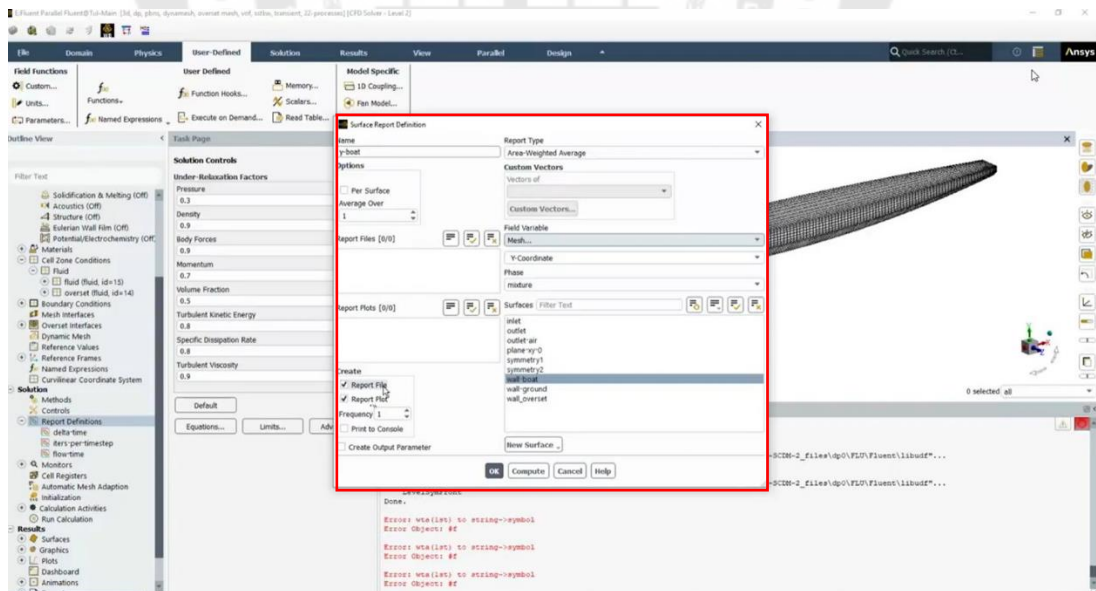
ข.11.1 ตั้งค่า Methods โดยกดเลือกเป็น Simple เลือก Pressure เป็น Modified Body Force Based เหมาะสำหรับงาน Multiphase ที่เป็นน้ำกับอากาศ จากนั้นคลิก High Order Tern Relaxation



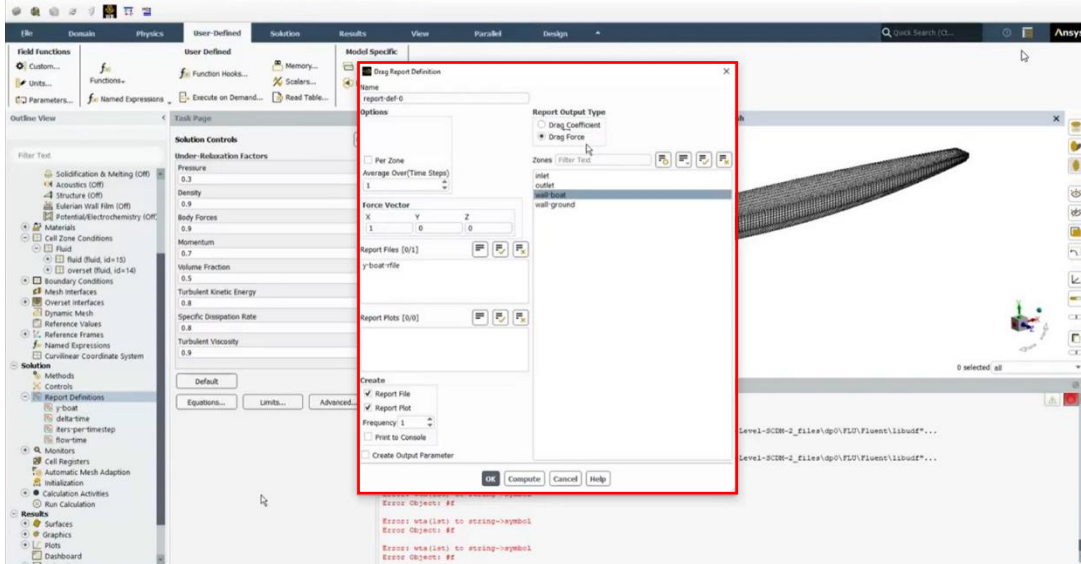
ข.11.2 ตั้งค่า Controls โดยการใส่ค่า Density, Body Forces และค่า Turbulent Viscosity เท่ากับ 0.9



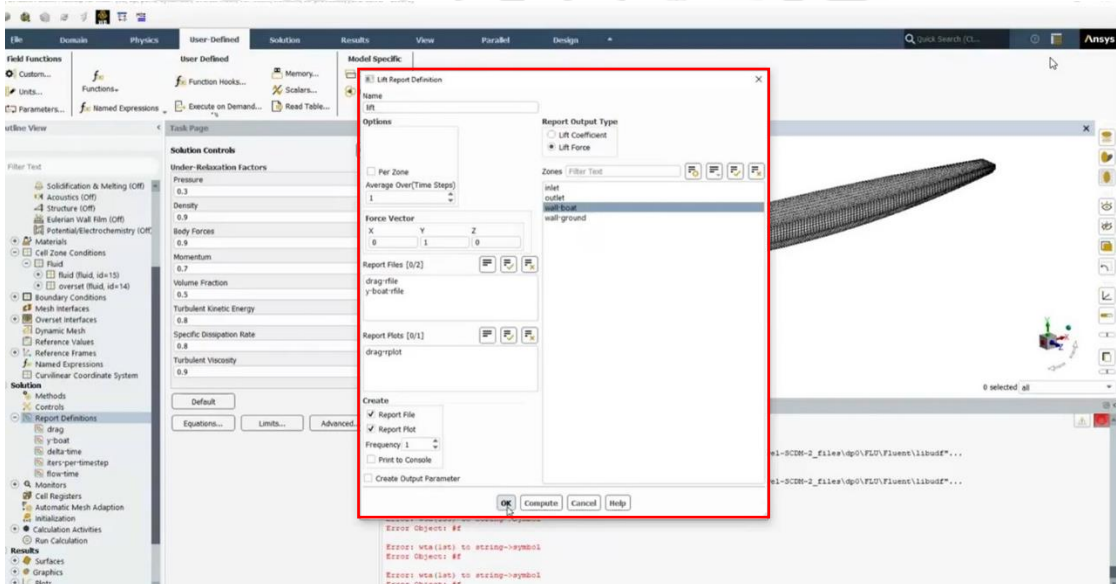
ข.11.3 ตั้งค่า Report Definitions ตั้งชื่อ y-boat เพื่อดูการรวมของเว็ล



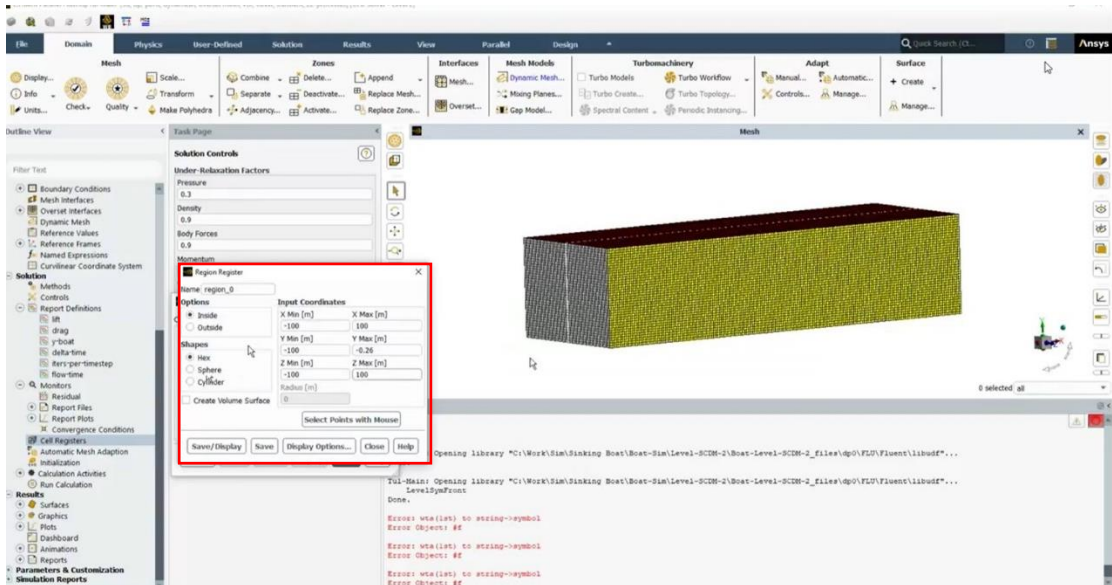
ช.11.4 ตั้งค่า Report Definitions เลือก Drag จากนั้นกดเลือกที่ Drag Force เพื่อวิเคราะห์แรงต้านทานที่มาก่อทำให้การเคลื่อนที่ของเรือ



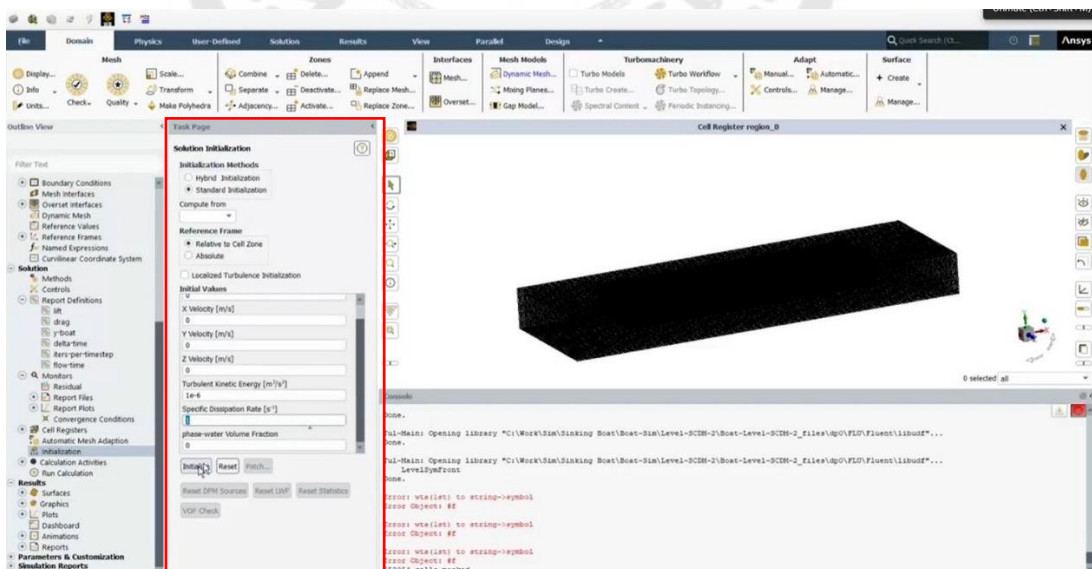
ช.11.5 ตั้งค่า Report Definitions เลือก Lift จากนั้นกดเลือกที่ Lift Force เพื่อวิเคราะห์แรงยกที่มาก่อทำให้การเคลื่อนที่ของเรือ



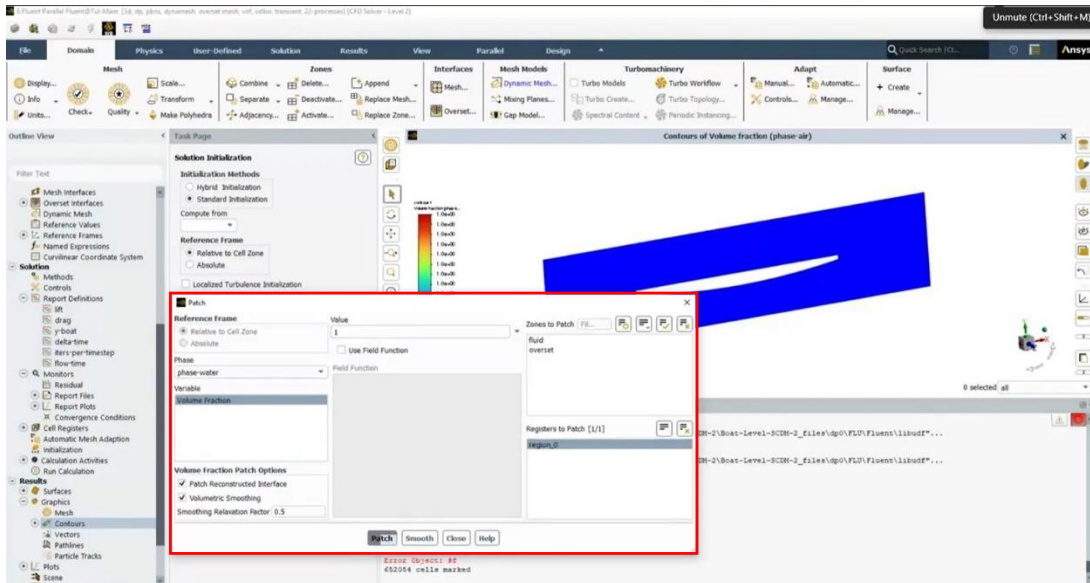
ช.11.6 ตั้งค่าการแบ่งโซน โดยกดคลิก Cell Registers เพื่อแบ่ง Zone ของน้ำ โดยใส่ค่า Input Coordinates



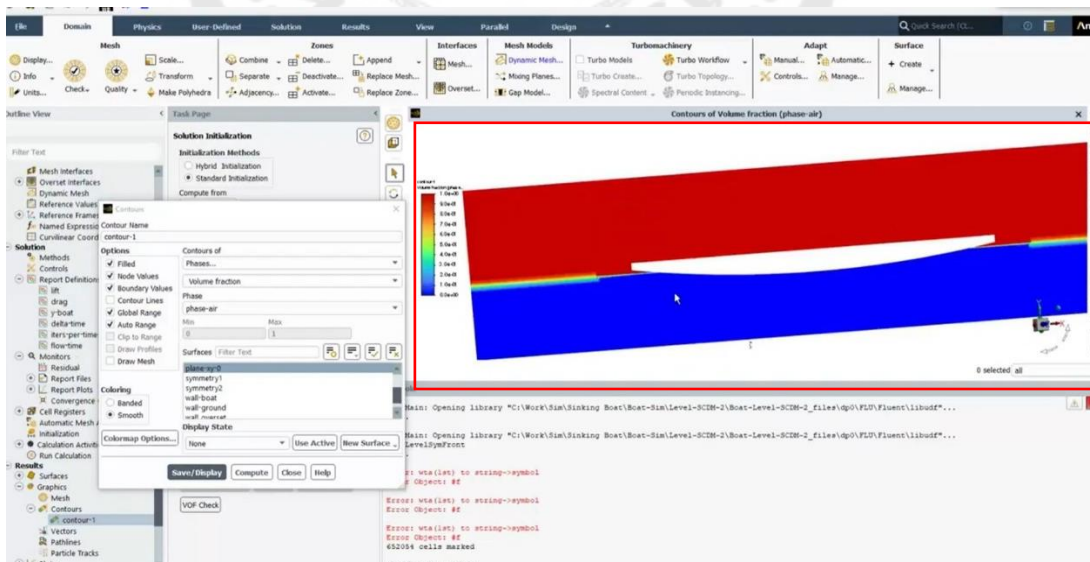
ช.11.7 ตั้งค่า Initialization โดยขั้นตอนแรก กดใช้ Standard Initialization ใส่ Turbulent kinetic Energy เท่ากับ 10^{-6} กด initialize จากนั้นทุกตำแหน่งจะกลายเป็นอากาศ



ข.11.8 ทำการ Patch น้ำเข้าไป โดยกด Patch เลือก Phase-water เลือก Volume Fraction ใส่ค่า Value เท่ากับ 1 กดเลือก region แล้วกด Patch

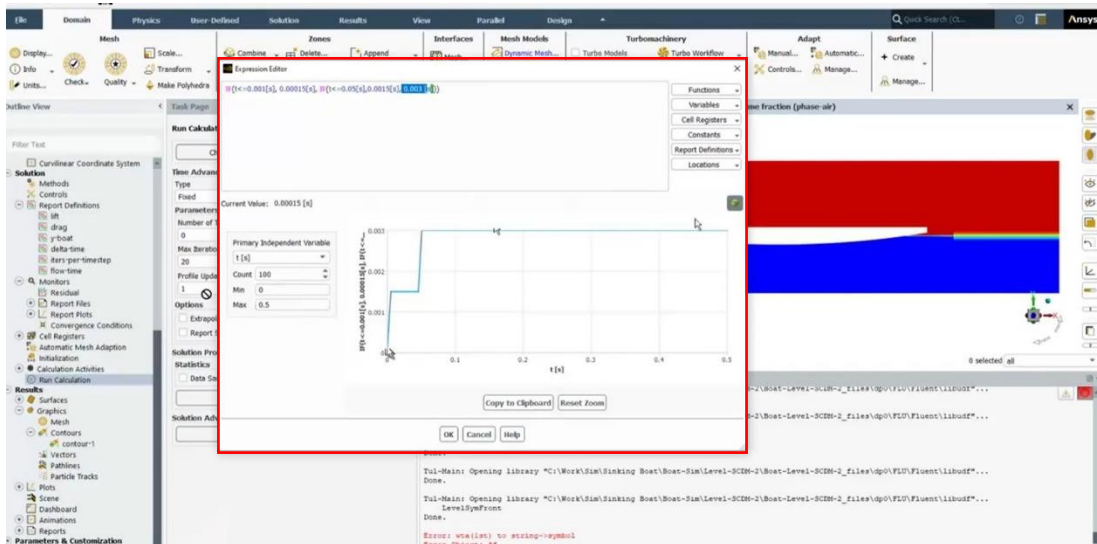


ข.11.9 จะได้ Zone ที่เป็นอากาศ และน้ำ

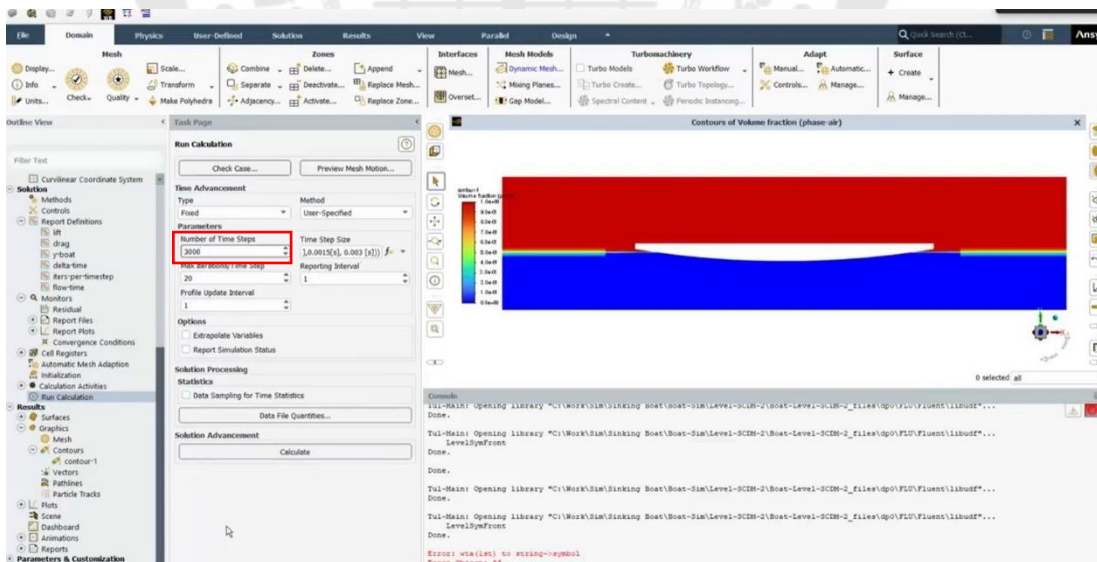


๗.12 การ Run Calculation

๗.12.1 กำหนด time Step



๗.12.2 กำหนด Number of Time Step เท่ากับ 3000 จากนั้นกด Calculate



ภาคผนวก ซ
ประกาศนียบัตรการเข้ารับการอบรมโปรแกรม Ansys Workbench



S/N: CADEM23-013

Certificate of Completion

This is to certify that

Jiraporn Khunopast


Has successfully completed the following training program

Ansys Fluent Getting Started

On

10 January 2023

Duration of training is 1 day


Pavee Noonpakdee
General Manager



CADEM
CADEM Technology Co., Ltd.

S/N: CADEM23-015

Certificate of Completion

This is to certify that

Jiraporn Khunopast

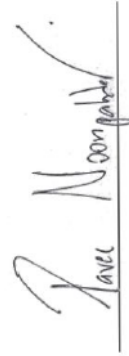
Has successfully completed the following training program

Advance Ansys Fluent Dynamic Meshing Modeling

On

18 January 2023

Duration of training is 1 day


Pavee Noonpakdee

Pavee Noonpakdee
General Manager



CADEM
CADEM Technology Co., Ltd.

S/N:CADEM23-014

Certificate of Completion

This is to certify that

Jiraporn Khunopast

Has successfully completed the following training program

ANSYS Fluent Multiphase Flow Modeling

On

11 January 2023

Duration of training is 1 day



Pavee Noonpakdee
General Manager



CADEM
CADEM Technology Co., Ltd.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จิราพร คุโนภาส
วัน เดือน ปี เกิด	23 กรกฎาคม 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ที่อยู่ปัจจุบัน	10 ซอยราษฎร์อุทิศ 41 แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี จังหวัดกรุงเทพฯ

