

การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานโดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล Study of Wave Resistance of a Trimaran Ship Using Computational Fluid Dynamics

อมรเดช กานต์นฤนิมิต¹ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 086 665 6425 E-mail: amordech_k@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลเพื่อหาแรงต้านทานคลื่น ในการวิเคราะห์จะพิจารณาการกระทำระหว่างน้ำและอากาศ และพัฒนาการของคลื่น แต่จะไม่คำนึงถึงการกระทำจากแรงต้านทานความเสียดทานหรือการไหลเป็นแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) ในเบื้องต้นของการจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ได้ทดลองเปรียบเทียบกับเรือท้องเดี่ยว (Monohull) และเรือท้องคู่ (Catamaran) ที่ความเร็วเลขฟรูด (Froude number, F_n) ในช่วง 0.5 - 0.7 และได้ทำการบันทึกค่าแรงดัน จากนั้นคำนวณหาความสัมพันธ์แรงต้านทานคลื่น เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ (Towing Tank Test) ของ Insel และ Molland [1] เพื่อยืนยันว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าได้ค่าความแตกต่างไม่เกิน 15% จากนั้นนำเสนอการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่เกิดขึ้นกับเรือไตรมารานที่ความเร็วเลขฟรูดในช่วง 0.33 - 0.371 และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองที่ทดสอบกับเรือจำลอง จากผลลัพธ์พบว่าได้ค่าความแตกต่างกับการทดลอง 4-33% โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าจากการทดลอง

คำหลัก: วิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล, แรงต้านทานคลื่น, เรือไตรมาราน

Abstract

The purpose of this study is to assess the use of Computational Fluid Dynamics (CFD) to analyze wave resistance. In the analysis, the air-water interaction and wave formation are considered but frictional resistance is neglected or the flow is assumed to be inviscid. At first, the simulations of monohull model and catamaran model were implemented by varying Froude number from 0.5 to 0.7. The pressure force was recorded for each simulation and then employed to calculate the wave resistance coefficient. The obtained wave resistance coefficients were later compared with the towing tank test results, conducted by Insel and Molland [1], to validate the simulated results. The comparison shows that the maximum discrepancy is 15%. Later, the simulation of trimaran model was carried out to evaluate wave resistance coefficient by varying Froude number from 0.33 to 0.371. The obtained wave resistance coefficients were compared with the experimental data and it was found that the discrepancy is varied from 4 to 33

percent. The simulated values are less than the tested results.

Keywords: CFD, wave resistance, trimaran ship

1. บทนำ

ตัวเรือไตรมาราน (Trimaran hull) เป็นตัวเรือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเรือที่มีตัวเรือ 3 ท้อง การออกแบบเรือไตรมาราน โดยทั่วไปจะออกแบบให้รูปทรงตัวเรือเพรียว ตัวเรือหลัก (Main hull) 1 ลำมีขนาดยาวและ ตัวเรือด้านข้าง (Outrigger) 2 ลำมีขนาดสั้น ดังรูปที่ 1 [2] ตัวเรือด้านข้างได้ถูกยึดเข้ากับตัวเรือหลักของแต่ละข้าง ซึ่งทำให้ตัวเรือไตรมารานมีคุณลักษณะความคงทนทะเล (Sea-keeping) และการทรงตัว (Stability) ที่ดีเยี่ยม (Kang, et. al. 2001) [3] ด้วยคุณสมบัติที่พิเศษเหล่านี้ ทำให้เรือไตรมารานได้ถูกนำมาใช้เป็นเรือความเร็วสูง



รูปที่ 1 เรือไตรมาราน แสดงตำแหน่งของตัวเรือหลัก (Main hull) และตัวเรือด้านข้าง (Outrigger) [2]

งานวิจัยที่ผ่านมาศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ที่สัมพันธ์กับความเร็วของเรือไตรมาราน เช่น Armstrong [4] พบว่าการออกแบบตัวเรือที่เพรียวของเรือไตรมาราน (อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวตัวเรือ (Beam to Length ratio)) ที่น้อยมาก มีผลทำให้สามารถลดแรงต้านทานคลื่น (Wave making resistance) ได้ และ Harvald [5] สามารถหาแรงต้านทานคลื่นได้จากแรงต้านทาน จากการสูญเสียพลังงานในรูปแบบคลื่น ต่อมาในงานวิจัยของ Xu และ Zou [6] และ Kang et. al [7] ได้แสดงให้เห็นว่าแรงต้านทานคลื่นลดลงได้จากตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวเรือด้านข้างกับตัวเรือหลัก จากที่กล่าวมาข้างต้นแรงต้านทานคลื่นมีอิทธิพลสูงมากในเรือความเร็วสูง

ในการทดลองในน้ำนิ่งกับเรือใหม่พบว่า แรงต้านทานแรงเสียดทานเท่ากับ 80-85% ของแรงต้านทานรวมในเรือความเร็วต่ำ และเท่ากับ 50% ในเรือความเร็วสูง โดยที่แรงต้านทานแรงเสียดทานสามารถหาได้จากสมการของ ITTC 1957 Model – Ship Correlation Line [8] ซึ่งแรงต้านทานแรงเสียดทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับความเร็วของเรือ โดยที่มีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสตัวเรือและน้ำเป็นตัวแปรที่คงที่ ทำให้แรงต้านทานคลื่นเป็นเป้าหมายหลักในการลดแรงต้านทานในเรือไตรมารานที่มีความเร็วสูง การออกแบบเรือ ให้สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ตามความต้องการ จำเป็นที่จะต้องทราบค่าแรงต้านทานรวม (Total resistance, R_T) เพื่อใช้หาขนาดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำหนักของเรือและปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการเดินทาง

โดยทั่วไป ผู้ออกแบบจะต้องสร้างเรือจำลองขึ้นมาและทดสอบเรือที่ความเร็วต่างๆ โดยทำการทดสอบใน Towing Tank จะได้ค่าแรงต้านทานรวมที่ต้องการ แต่การทดลองนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงและเสียเวลามากในการทดลองแต่ละครั้ง ดังนั้นถ้าการออกแบบด้วย CFD โปรแกรมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณแรงต้านทานของตัวเรือได้ จะสามารถประหยัดเวลาและเงินทุนได้ อีกทั้งสามารถเปลี่ยนรูปแบบของเรือคุณสมบัติทางกายภาพ (สิ่งแวดล้อมและอื่นๆ) การทดลองที่ความเร็วต่างๆ ซ้ำๆ จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ ได้อย่างรวดเร็วกว่าการทดลองใน Towing Tank ในการสร้างเรือ ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองลากเรือจำลองใน Towing Tank ได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบตัวเรืออีกด้วย

สำหรับการศึกษาการใช้ CFD ในการหาแรงต้านทานเรือ เกรย์ [2] ได้ศึกษาการใช้ CFD โดยจำลองการไหลผ่านตัวเรือไตรมารานเพื่อหาแรงต้านทานแรงเสียดทาน โดยตัดเรื่องการกระทำระหว่าง

น้ำและอากาศ และการเกิดคลื่น ซึ่งทำให้ไม่เกิดแรงจุดจากแรงต้านทานคลื่น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนที่สูงเนื่องมาจากการสร้างตัวเรือจำลองในโปรแกรมให้ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวเรือกับน้ำมีความคลาดเคลื่อน ความผิดพลาดในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และไฟไนต์อีเลเมนต์เมช ไม่เพียงพอ

ในการหาแรงต้านทานคลื่นด้วยวิธี CFD นั้น ได้มีงานวิจัย [9] ที่นำการจำลองปริมาตรของไหล (Volume of Fluid หรือ VOF) มาใช้ โดยการใช้การจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model) แบบ $k - \varepsilon$ มาตรฐานสำหรับการไหลที่มีความหนืด ด้วยของไหล 2 เฟส (น้ำและอากาศ) โดยกำหนดให้น้ำไหลผ่านตัวเรือซึ่งอยู่กับที่และไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง พบว่าค่าแรงต้านทานที่ได้จากวิธี CFD สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในงานวิจัยนี้มีค่าคงที่ประมาณ 0.5 เท่าของผลการทดลอง

งานวิจัยที่นี้ทำการปรับเปลี่ยนการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต โดยการใช้การจำลองปริมาตรของไหล (VOF) แบบ Open Channel Flow ด้วยของไหลแบบ 2 เฟส (น้ำและอากาศ) โดยกำหนดให้การไหลเป็นแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) เพื่อตัดผลกระทบที่เกิดจากแรงต้านทานแรงเสียดทาน (Frictional resistance) และไม่มีผลกระทบจากการจม (Sinkage) และทริม (Trim) เพื่อหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไทรมาราน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้น หรือก่อนการสร้างโมเดลเรือจำลองเพื่อทำการทดสอบจริงใน Towing Tank ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แรงต้านทานเรือ

แรงต้านทานของเรือมีอิทธิพลกับความเร็วระวางขับ และรูปทรงของตัวเรือ แรงต้านทานตัวเรืออยู่ในรูปของ “แรงกระทำจากของไหลกระทำกับตัวเรือในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเรือ” [5] แรงต้านทานรวม (Total resistance, R_T) ประกอบด้วยแรงต้านทานหลายชนิด รูปแบบการแบ่งแยก สามารถ

แบ่งได้หลายแบบ ซึ่งในที่นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ แรงต้านทานที่เหลือ (Residuary resistance, R_R) และแรงต้านทานแรงเสียดทาน (R_F) [10]

$$R_R = R_T - R_F \quad (1)$$

โดยแรงต้านทานที่เหลือนี้ประกอบด้วย แรงต้านทานจากคลื่น (Wave making resistance, R_W) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นเป้าหมายในการศึกษาโดยทั่วไป การทดลองลากเรือใน Towing Tank จะได้ค่าแรงต้านทานรวม และจะได้ค่า R_W จากสมการที่ (1) โดยที่ R_F สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวเปียก (Wetted surface area, A) ผ่านสมการของ ITTC 1957 Model – Ship Correlation Line [8] และ R_W สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการที่ (2)

$$R_W = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_W \quad (2)$$

เมื่อ C_W เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น (Wave making resistance Coefficient), V เป็นความเร็วของเรือ (m/s), A เป็นค่าพื้นที่ผิวเปียก (m^2), ρ เป็นค่าความหนาแน่นของไหล (kg/m^3) ในการใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานกับการจำลองเรือ โดยใช้เลขฟรูด (Froude number, Fn) เป็นตัวแปรไร้มิติในการแสดงความสัมพันธ์ของแรงต้านทานคลื่นต่อความเร็ว สามารถหาค่าได้จาก

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3)$$

เมื่อ V เป็นความเร็วของเรือ (m/s), L เป็นความยาวตัวเรือที่แนวน้ำ (m) และ g เป็นค่าคงที่อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

2.2 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

การพิจารณาการจำลองการไหลโดยตัดผลกระทบที่เกิดจากความหนืดผ่านตัวเรือแบบ 2 เฟส ด้วยวิธีเชิงตัวเลขแบบปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) ร่วมกับแบบจำลองปริมาตรของไหล (VOF) แบบ implicit scheme สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ผิวน้ำและคุณสมบัติการไหลอื่นๆ ของแต่ละปริมาตรควบคุมร่วมกับการใช้ open channel

flow เพื่อให้ความดันที่ทางเข้าแปรผันตามความลึกของระดับน้ำ สุดท้ายทำการดิสครีไทเซชัน (Discretization) สมการควบคุม (Governing equation) สำหรับการไหลแบบไม่มีความหนืดหรือสมการออยเลอร์ (Euler equation) ที่ได้จากการตัดเทอมของความหนืดจากสมการ Navier-Stokes ด้วยการหาผลเฉลยแบบแยกพิจารณา (Segregated solution method) โดยสมการที่เกี่ยวข้อง เช่น สมการอนุรักษ์มวล (Mass conservation equation), สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum conservation equation), สมการการส่งผ่าน (Transport equation), สมการแบ่งสัดส่วนปริมาตร (Volume fraction equation) และ สมการแรงดันรวม (Total pressure) สามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [11]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การพิสูจน์แบบจำลองตัวเรือ Wigley

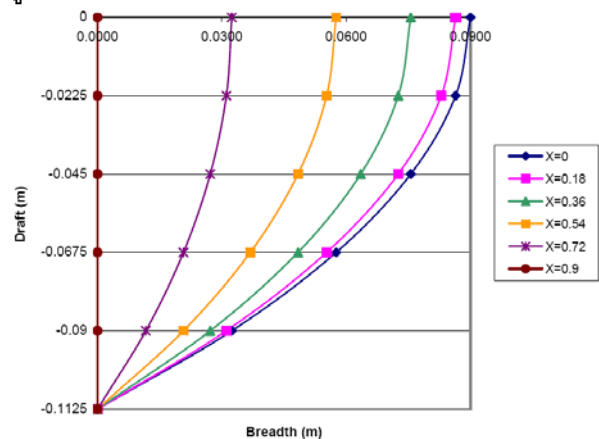
การจำลองตัวเรือ Wigley เพื่อใช้ในการรับรองผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ (Fluent) โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น (C_w) ที่ได้จากผลการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลกับค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ (Towing tank test) ซึ่งได้แรงต้านทานรวมและจะได้ค่า R_w จากสมการที่ (1) โดยที่ R_f สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวเปียก (Wetted surface area, A) ผ่านสมการของ ITTC 1957 Model – Ship Correlation Line [8] โดยกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของของไหลเท่ากับ 998.2 kg/m^3 และค่าคงที่อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเท่ากับ 9.81 m/s^2 ในการทดลอง ชั้นแรกในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการสร้างรูปทรงทางคณิตศาสตร์ของตัวเรือขึ้นจากสมการต่อไปนี้ [12]

$$y = \frac{B}{2}(1 - \xi^2)(1 - \zeta^2) \quad (4)$$

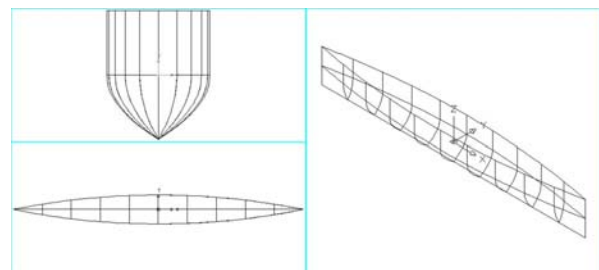
$$\text{เมื่อ } \xi = \frac{x}{L/2} \in [-1, 1] \quad (5)$$

$$\text{และ } \zeta = \frac{z}{T} \in [-1, 0] \quad (6)$$

โดยให้ ความยาวตัวเรือที่แนวน้ำ 1.8 เมตร (L) ความกว้างตัวเรือที่แนวน้ำ 0.18 เมตร (B) ระยะกินน้ำลึก 0.1125 เมตร (T) ความลึกตัวเรือ 0.225 เมตร (D) และพื้นที่ผิวเปียก 0.482 ตารางเมตร [1] นำค่า L และ T มาแบ่งระยะเพื่อแทนค่า x และ z ในสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ นำค่าที่ได้แทนลงในสมการที่ (4) นำค่า y ที่ได้ สร้างพิกัดลายเส้นตัวเรือ ดังรูปที่ 2 เพื่อใช้ในการสร้างโมเดลตัวเรือ Wigley ที่มีความสมมาตรตามความยาวและความกว้าง ใน CAD software ดังรูปที่ 3

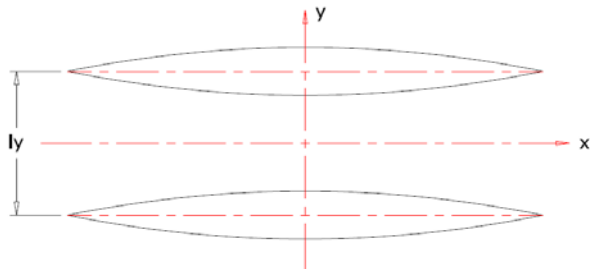


รูปที่ 2 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ของตัวเรือ Wigley ได้แนวน้ำ ที่ครึ่งความกว้าง



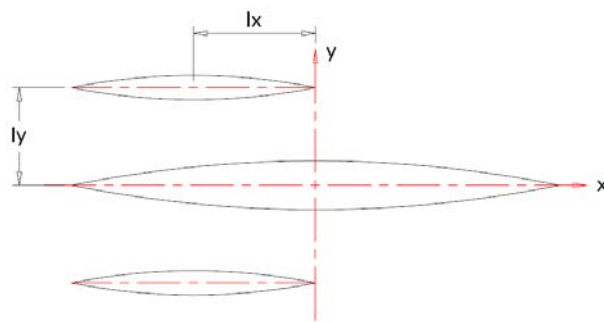
รูปที่ 3 แสดงโมเดลตัวเรือ Wigley จาก CAD software

สำหรับเรือสองท้องได้นำตัวเรือ Wigley มาจำลองเป็นตัวเรือคู่ โดยมีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือ 0.54 เมตร (l_y) ดังรูปที่ 4 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบไม่มีความหนืดที่ได้กับผลการจำลองแบบมีความหนืด Turbulence model แบบ k – ϵ มาตรฐาน [9] และผลจากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [1]



รูปที่ 4 แสดงระยะห่างของตัวเรือคู่

การจำลองเรือไตรมารานโดยใช้ตัวเรือ Wigley โดยกำหนดให้ค่า l_x เท่ากับ $0.0L$ ($x = 0$ m) และ l_y เท่ากับ $0.2L$ ($y = 0.36$ m) ตามพิกัดแกน x และ y ตัวเรือหลักมีความยาวเป็นสองเท่าของตัวเรือด้านข้าง ดังรูปที่ 5 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้ กับผลจากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [13]



รูปที่ 5 แสดงระยะห่างของตัวเรือไตรมาราน

แบบจำลองถังลากเรือมีขนาดเป็นไปตามงานวิจัยของ Insel และ Molland [1] ยกเว้นส่วนบรรยากาศและความยาวถัง เนื่องจากใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการจำลอง CFD ของตัวเรือคู่ [9] จึงกำหนดให้มีขนาดความยาวถังและระยะห่างระหว่างหัวเรือและทางเข้าของไหลเท่ากัน โดยมีขนาดเป็นดังรูปที่ 6

ทำการแบ่งกริดปริมาตรควบคุมแต่ละโมเดล โดยกริดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้กริดแบบผสมด้วยรูปทรงกริดสี่เหลี่ยมและกริดหกหน้า (Quadrilateral and Hexahedral) โดยรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดแต่ละโมเดลที่ใช้ในการวิจัย

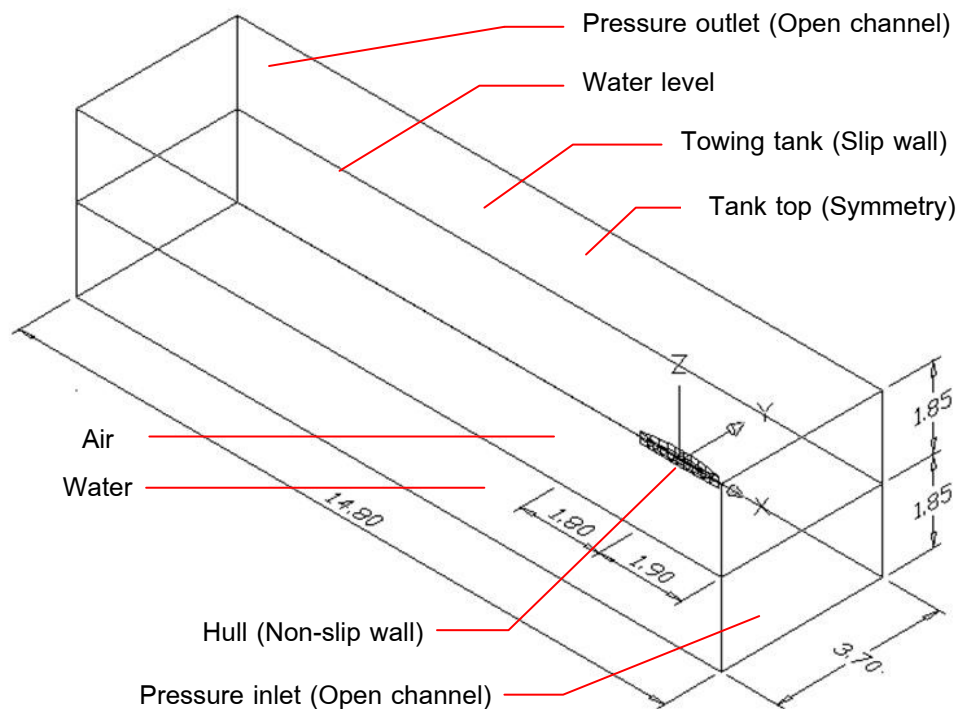
Model	Hull	Flow	Grid (cell)	A (m ²)
1	Mono	Inviscid	1,065,344	0.482
2	Cat	Viscous	897,846	0.964
3	Cat	Inviscid	897,846	0.964
4	Cat	Inviscid	1,235,379	0.964
5	Tri	Inviscid	1,164,412	0.723

Model 2 คือผลการทดลองจากงานวิจัยตัวเรือคู่ [9] เป็นการใช้โมเดลการไหลแบบมีความหนืด (Viscous flow) และได้นำมาพัฒนาการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตใน Model 3 เป็นโมเดลการไหลแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

3.2 การกำหนดเงื่อนไข CFD

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังรูปที่ 6 โดยให้น้ำและอากาศไหลเข้าด้วยความเร็วคงที่เทียบเท่าความเร็วเรือแบบ Open channel โดยที่ผนังถังจำลองเคลื่อนที่ตามความเร็วเรือ และตัวเรือเป็น Non-slip ขณะที่ผิวน้ำเป็นแบบจำลอง VOF Implicit scheme แบบ Open channel flow

คำนวณผลเฉลย ความดัน-ความเร็วแบบ SIMPLE ด้วยสถานะไม่คงตัว (Unsteady state calculation) แปรผันตามเวลาที่ Time step เท่ากับ $L/20V$ วินาที และการดีสครีไทเซชันค่าแรงดันด้วยวิธี PRESTO ค่าโมเมนตัมและสัดส่วนปริมาตร (Volume fraction) ด้วยวิธี First order upwind



รูปที่ 6 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของแบบจำลองถังลากเรือสำหรับจำลองใน CFD

4. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

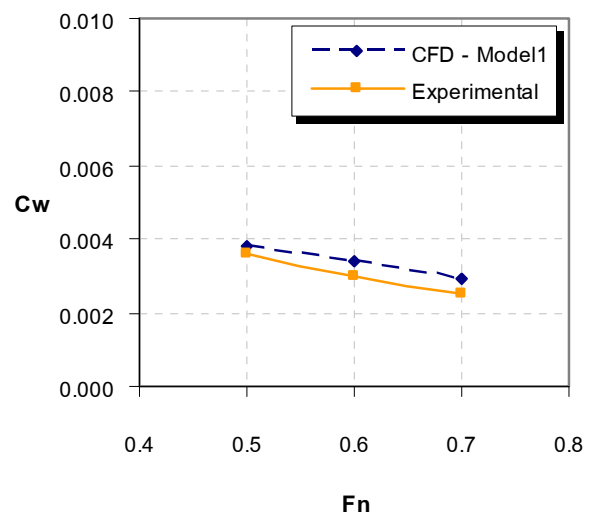
การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยโมเดลตามตารางที่ 1 โดยทำการเปลี่ยนความเร็วเลขฟรูด 0.5, 0.6 และ 0.7 ใน Model 1 - 4 และ 0.33, 0.35, 0.371, 0.392 ใน Model 5 ทำการบันทึกค่า Pressure force หรือแรงดันในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวตัวเรือ (Normal pressure หรือ Wave resistance, R_w) จากสมการที่ (2) ทำการคำนวณค่า C_w ด้วยค่าแรงต้านทานคลื่น (R_w) ที่บันทึกได้จากการจำลองการไหลและค่าพื้นที่ผิวเปียก (A) ตามตารางที่ 1 แบ่งตามประเภทตัวเรือดังนี้

4.1 เรือท้องเดียว (Monohull)

นำค่า C_w จาก Model 1 พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์เลขฟรูดในช่วง 0.5 - 0.7 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง [1] ดังรูปที่ 7 พบว่า C_w มีค่าลดลงเมื่อเลขฟรูดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองลากเรือจำลอง และแสดงให้เห็นว่าเมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นแรงต้านทานคลื่นมีค่าลดลง

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วย CFD กับผลการทดลองลากเรือจำลอง ในเรือท้องเดียว

พบว่า อยู่ระหว่าง 6 - 15% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 11%) โดยค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง



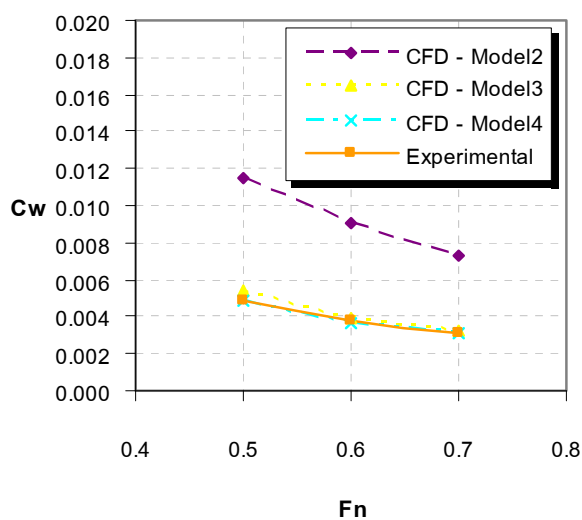
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับ ผลการทดลองของ Model 1

4.2 เรือท้องคู่ (Catamaran)

จากการพล็อตกราฟค่า C_w ด้วยตัวเรือคู่ Model 2 - 4 เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลอง [1] พบว่า แนวโน้มที่ได้จากการคำนวณ CFD

มีความสอดคล้องกับผลการทดลองโดยเมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นแรงต้านทานคลื่นจะลดลงสอดคล้องเช่นเดียวกับเรือท้องเดียว

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ CFD แบบ Viscous flow [9] ใน Model 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 134 – 138% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 136%) และนำ Model 2 ปรับเงื่อนไข CFD เป็นแบบไม่มีความหนืดใน Model 3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 2 – 10% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6%) โดยค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองและนำ Model 3 แบ่งกริดเพิ่มขึ้นเป็น Model 4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าลดลงไม่เกิน 3% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1%) โดยค่าที่ได้ของเลขฟรูด 0.6 – 0.7 มีค่าน้อยกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง



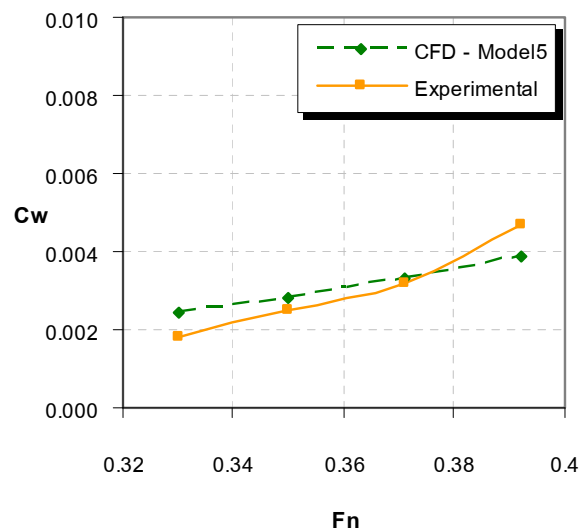
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับ ผลการทดลองของ Model 2 – 4

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วย CFD ใน Model 2 และ 3 พบว่า การใช้การจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากขึ้น เนื่องมาจากการตัดผลกระทบอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานผิวที่เกิดจากความหนืด และใน Model 3 และ 4 การเพิ่มจำนวนกริดและรูปแบบกริดที่ใช้ใน Model 4 ในปริมาตรควบคุม ให้ผลการคำนวณที่มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลง

4.3 เรือสามท้อง (Trimaran)

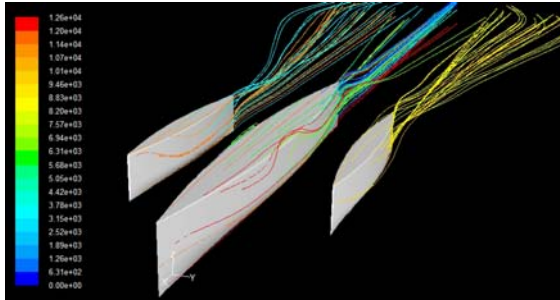
ผลการคำนวณด้วย CFD จาก Model 5 เปรียบเทียบผลการทดลองลากเรือจำลอง [13] ตามรูปที่ 9 พบว่า ค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามความเร็วเรือในช่วงเลขฟรูด 0.330 – 0.392 สอดคล้องกับผลการทดลองลากเรือจำลอง [13]

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ CFD เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรืออยู่ระหว่าง 4 – 33% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 17%) พบว่า ในช่วงเลขฟรูด 0.330 – 0.371 ค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองลากเรือ และที่ เลขฟรูด 0.392 ค่าที่ได้จาก CFD มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองลากเรือ เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในการใช้ CFD เปรียบเทียบกับเรือท้องเดียวและเรือท้องคู่ เรือไตรมารานได้ผลความคลาดเคลื่อนที่มากกว่า

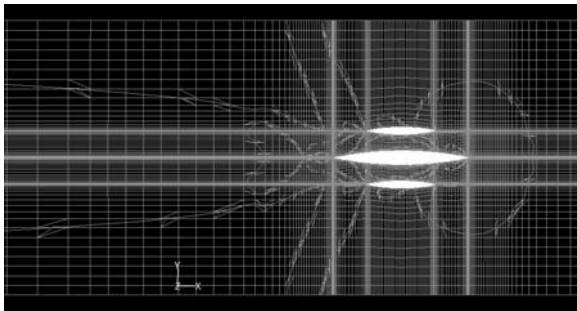


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลองของ Model 5

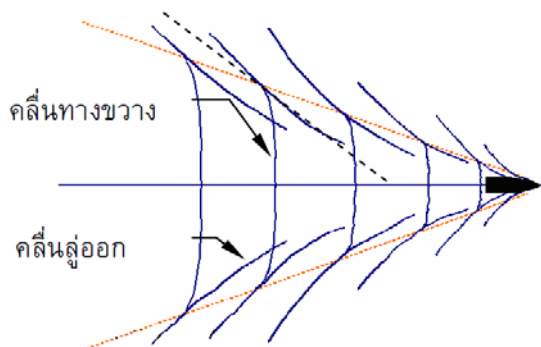
จากการจำลองของไหลผ่านตัวเรือไตรมาราน ดังรูปที่ 10 พบว่าทิศทางการไหลของน้ำระหว่างตัวเรือหลักและตัวเรือด้านข้างมีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากการแทรกสอดระหว่างน้ำที่ผ่านตัวเรือทำให้การไหลที่ด้านท้ายเรือของตัวเรือด้านข้างแตกต่างกับตัวเรือหลัก โดยมีทิศทางการไหลสลับออกมากกว่า



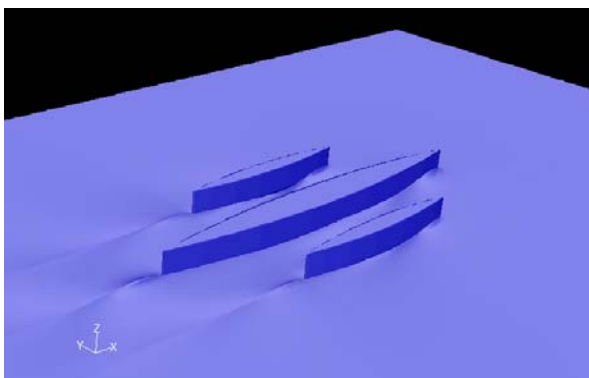
รูปที่ 10 Streamline ที่เกิดขึ้นที่ $Fn = 0.33$



รูปที่ 11 Wave pattern ที่ $Fn = 0.33$



รูปที่ 12 รูปแบบคลื่นตามทฤษฎีเคลวิน [9]



รูปที่ 13 การเกิดคลื่นที่บริเวณตัวเรือที่ $Fn = 0.33$

รูปที่ 11 รูปแบบคลื่นที่ได้จากการจำลอง
พลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วเลขฟรูด 0.33 มีความ
สอดคล้องกับรูปแบบคลื่นตามทฤษฎีเคลวิน (Kelvin

Theory) [9] โดยที่ผิวน้ำจะประกอบด้วยคลื่นลู่ออก
(Divergent waves) และคลื่นทางขวาง (Transverse
waves) ดังรูปที่ 12 และคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณตัวเรือ
หลักและตัวเรือด้านข้างมีลักษณะสอดคล้องกัน ดังรูป
ที่ 13 โดยที่บริเวณหัวเรือ น้ำจะถูกยกตัวสูงขึ้นจาก
แนวระดับน้ำจากนั้นจะลดต่ำลงและเกิดท้องคลื่นเมื่อ
ผ่านกึ่งกลางลำเรือและมีระดับความลึกเกือบคงที่เมื่อ
ผ่านท้ายเรือ ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับรูปแบบการ
เกิดคลื่นในงานวิจัย [9]

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์
สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น ด้วยวิธีการคำนวณ
พลศาสตร์ของไหลแบบไม่มีความหนืด เรือท้องเดียว
เรือท้องคู่และเรือไตรมาราน โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมา
เปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากผลการ
เปรียบเทียบพบว่า ค่าที่ได้จากผลวิเคราะห์ให้
ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นกับ
เลขฟรูด ไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จากการทดลอง
แต่ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันสูงสุดอยู่ 33% และค่าที่
ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่า ดังนั้นวิธีการคำนวณ
พลศาสตร์ของไหลแบบไม่มีความหนืด จึงถือว่าเป็น
วิธีการที่มีประสิทธิภาพ ที่จะนำมาใช้ออกแบบตัวเรือ
ไตรมารานในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น
(Preliminary design) ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นาวาโท สัตยา จันทระประภา
และ นาวาตรี กิตติภูมิ ภูมิโคกรักษ์ณ์ กรมแผนการ
ช่าง กรมอุทการเรือ ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็น
ประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Insel, M., and Molland, A. F. (1991). An
Investigation into the Resistance Components of
High Speed Displacement Catamarans.

Proceeding of meeting of the Royal Institution of Naval Architects. London.

[2] Gray, Alexander (2007). *Preliminary Study on the Use of Computational Fluid Dynamics to Determine the Friction Resistance of a Trimaran Ship*. Major of Mechanical and Aerospace Engineering, West Virginia University, WV, 2007.

[3] Kang, K., et al. (2001). Seakeeping and Maneuvering Performance of the 2,500 Tons Class Trimaran. *Proceedings of IWSH'2001 The Second International Workshop on Ship Hydrodynamics*, Wuhan, China, pp. 38-44.

[4] Armstrong, NA. (2004) Coming Soon to a Port Near You – The 126 Metre Austral Trimaran, *International Conference: Design and Operation of Trimaran Ships*, London, U.K. 2004.

[5] Harvald, SV. AA. (1983) *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1983.

[6] Xu, H. and Zou, Z. (2001) Numerical Prediction of Wave Making Resistance of a Trimaran, *Proceedings of IWSH'2001 The Second International Workshop on Ship Hydrodynamics*, Wuhan, China, pp. 105-109.

[7] Kang, Kun-Jin, Lee, Chun-Ju, et. Al., Design and Hydrodynamic Performance of a Frigate Class Trimaran, *International Conference: Design and Operation of Trimaran Ships*, April 2004, London, U.K. 2004 pp. 184-194.

[8] Van Manen, J. D., and Van Oossanen, P. (1988). Chapter V Resistance. *Principles of Naval Architecture, Volume II*. Lewis, E.V., editor. 1st printing. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. USA. pp. 1-125.

[9] กิตติภูมิ ภูมิโคกรักษ์ และคณะ (2553). การวิเคราะห์ความต้านทานและรูปแบบคลื่นของเรือแบบตัวเรือคู่ ด้วยวิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล, การ

ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, จังหวัดอุบลราชธานี

[10] Munro-Smith, R. (1973) *Ships and Naval Architecture*. Institute of Marine Engineers, St. Stephen's Bristol Press Ltd., Filton, Bristol, 1973.

[11] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide (2009). *ANSYS FLUENT 12.0 Documentation, Theory Guide*, Chapter 16 Multiphase Flows. Release 12.0 © ANSYS. Inc. 2009-01-23.

[12] Peng, H. (2001) *Numerical Computation of Multi-Hull Ship Resistance and Motion*. Major Subject: Naval Architecture at Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 2001.

[13] Battistin, D. (2000). *Analytical, Numerical and Experimental Investigation on the Wave Interference Phenomenon of Trimaran Configurations*, NAV, Venice, 2000.