

การลดความต้านทานเรือโดยใช้ฟอยล์ EPPLER 874

Reduction of Ship Resistance using EPPLER 874 Foil

ฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน วลีพรรณ กันเนื่อง* และ จารุพันธ์ หนูสมตน

ภาควิชาวิศวกรรมทางทะเล คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

199 หมู่ 6 ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : waleephan.g@ku.th

วันที่รับบทความ: 27 ตุลาคม 2565 / วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 1: 5 ธันวาคม 2565 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 14 ธันวาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 2: 13 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความต้านทานเรือ โดยการประยุกต์ใช้ไฮโดรฟอยล์ติดตั้งใต้ท้องเรือ ใช้ทฤษฎีความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิตเพื่อออกแบบเรือโมเดลที่มีอัตราส่วนของมิติขนาดเท่ากับ 3.2 เรือโมเดลใช้สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของฟอยล์ เพื่อยืนยันว่าเมื่อขยายอัตราส่วนกับเรือจริงแล้ว แรงยกที่ได้มีค่ามากกว่า น้ำหนักเรือจริง เมื่อทำการทดสอบเรือโมเดลกับฟอยล์ 3 แบบ ได้แก่ EPPLER874 NACA63209 และ NACA4412 พบว่า ฟอยล์ EPPLER874 ที่มุมปะทะ 12° ให้ค่าอัตราเร็วเรือโมเดลได้ดีที่สุด จึงเลือกใช้ฟอยล์ EPPLER874 ในการสร้างเรือไฮโดรฟอยล์ ซึ่งเรือที่ออกแบบมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 260 กิโลกรัม ฟอยล์ทำด้วยไฟเบอร์กลาส ด้านหัวเรือเป็นฟอยล์รูปตัววีมีขนาดความยาวคอร์ด 0.2 เมตร ด้านท้ายเรือใช้ฟอยล์รูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความยาวคอร์ด 0.3 เมตร ผลทดสอบพบว่า ควรติดตั้งฟอยล์ที่มุมปะทะ 12° จะทำให้ได้แรงยกอย่างมีประสิทธิภาพทั้งทางตรงและเลี้ยว เมื่อเปรียบเทียบกับเรือไฮโดรฟอยล์ EPPLER874 กับเรือแบบไม่ติดฟอยล์ พบว่า เรือไฮโดรฟอยล์มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.65 แต่การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 48.37

คำสำคัญ : เรือไฮโดรฟอยล์, EPPLER874, แรงยก, ความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิต

Abstract: The purpose of this research is to reduce ship resistance of the boat by using hydrofoils under the hull. The geometric similarity theory was applied to design a model with a dimension ratio of 3.2. The model boat was built to confirm that when it was extended by this dimension ratio, the hydrofoil could provide a higher lift force than the actual load. The experiment results of the model on three types of hydrofoil; EPPLER874, NACA63209, and NACA4412; showed that EPPLER874 with the attack angle of 12° provided the best model speed. Therefore, EPPLER874 foil was selected to build the hydrofoil boat. The overall load of the boat with hydrofoil is 260 kg. EPPLER874 hydrofoils made of fiberglass. The bow foil is V-shape with the chord length of 0.2 m. The stern foil is trapezoid-shaped with the chord length of 0.3 m. The experiment results have shown that 12° of hydrofoil attack angle maintains the stable lift force when moving forward and turning circle. In the comparison of the EPPLER874 hydrofoil boat with the non-foil boat,

it has been found that the speed of the hydrofoil boat increased by 15.65%, whereas the fuel consumption is reduced by 48.37%.

Keywords: Hydrofoil boats, EPPLER874, Lift force, geometrical similarity

1. บทนำ

เรือแล่นได้ต้องใช้แรงขับเคลื่อนจากกำลังเครื่องยนต์ให้ชนะความต้านทานเรือซึ่งเกิดจากความเสียดทานของน้ำ และความต้านทานคลื่น โดยกำลังขับเคลื่อนของเรือประมาณ 60% ขึ้นไป ถูกใช้ไปในการเอาชนะค่าความต้านทานเรือ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ของเรือ สามารถทำได้ด้วยการลดความต้านทานเรือลง โดยความต้านทานเรือเป็นส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวเปียกของเปลือกเรือ วิธีการลดความต้านทานเรื่อนั้น ต้องไม่มีผลต่อความปลอดภัยในการใช้เรือ ขนาดของเรือ สิ่งแวดล้อม และมลภาวะทางทะเล วิธีที่นิยมใช้ เช่น วิธีการทาสีเคลือบผิวเปลือกเรือ วิธีนี้จะช่วยลดความหยาบของผิวเปลือกเรือ และช่วยลดการเกาะของเฟรียง ส่งผลให้แรงเสียดทานของผิวเปลือกเรือลดลง [1-2] มีการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า บัล-บัส เบวว์ (Bulbous bow) [3-4] เพื่อลดความต้านทานเรือ โดยการลดคลื่น (Transverse wave) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเรือ Latorre [5] ค้นพบการลดความต้านทานเรือโดยทำให้เกิดชั้น หรือช่องว่างของอากาศ โดยการอัดอากาศบริเวณท้ายเรือ (Air lubrication technique) การทำให้เกิดชั้นของอากาศส่งผลให้แรงต้านลดลง Mäkiharju และคณะ [6] ได้วิเคราะห์การใช้พลังงานของเรือที่มีขนาดใหญ่ โดยทำการวิเคราะห์เรือบรรทุกสินค้าที่มีขนาดมิติเสมือนกับเรือ M/V American Spirit พบว่า การใช้อากาศเคลือบผิวเปลือกเรือจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 10~20 โดย He และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาผลของจำนวน เครื่องอัดอากาศ ตำแหน่งของการวาง และปริมาตรของอากาศที่เหมาะสมที่สุดใน

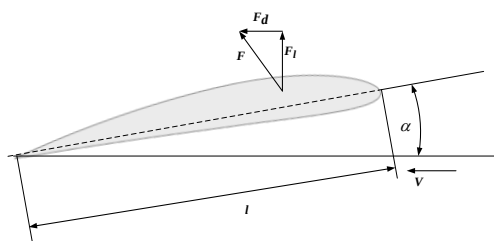
การลดแรงต้านของเรือ โดย Jang และคณะ [8] แสดงผลการทดสอบการเกิดชั้นของอากาศว่าสามารถช่วยลดกำลังสุทธิลงโดยทำการจำลองในถังลากเรือ Cucinotta และคณะ [9] นำเสนอผลของชั้นของอากาศ พิจารณาอัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มีอากาศ นอกจากนี้ Wang และคณะ [10] ได้ศึกษาการลดความต้านทานเรือโดยการทำให้เกิดฟองอากาศ (Gas lubrication with bubbles) Tanaka และคณะ [11] แสดงผลการทดสอบการลดความต้านทานในเรือจำลองโดยทำการอัดฟองอากาศภายใต้สภาวะการไหลแบบปั่นป่วน อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการลดความต้านทานเรือคือ การใช้แผ่นฟอยล์ โดย Kumagai และคณะ [12] ใช้แผ่นไฮโดรฟอยล์เพื่อการผลิตฟองอากาศเคลือบที่ผิวเปลือกเรือซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 5~15 Beckmann และคณะ [13] ทำการทดสอบการใช้เวฟฟอยล์ (Wavefoil) โดยติดตั้งที่หัวเรือจำลอง พบว่าเวฟฟอยล์ช่วยลดความต้านทานเรือได้ร้อยละ 9~17 การลดความต้านทานเรือสำหรับเรือขนาดเล็กนิยมใช้แผ่นไฮโดรฟอยล์ติดตั้งที่หัวเรือ และท้ายเรือ เพื่อให้เกิดแรงยก ตามหลักการของกลศาสตร์ของไหล ทำให้เรือยกตัวขึ้นจากผิวน้ำ จึงลดพื้นที่ผิวเปียก และลดความต้านทานเรือลง ช่วยให้เรือแล่นได้เร็วขึ้น และประหยัดพลังงาน ตัวอย่าง เช่น Budiyanto และคณะ [14] ติดตั้งฟอยล์ ชนิด NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) ที่ตำแหน่งด้านท้ายของเรือลาดตระเวนเพื่อให้เกิดแรงยกจากการทดลอง และการจำลองด้วยวิธี CFD (Computational Fluid Dynamics) พบว่า การทดสอบที่ฟรูดนัมเบอร์ (Froude number) เท่ากับ 1.1 การติดฟอยล์

ท้ายเรือ ช่วยทำให้ความต้านทานเรือลดลงได้มากถึงร้อยละ 22.3 และร้อยละ 23.3 ตามลำดับ

ตัวอย่างเรือไฮโดรฟอยล์ เช่น USS Aquila ของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา หรือ Voskhod เรือขนส่งผู้โดยสารของยูเครน เป็นต้น ในประเทศไทยยังไม่มีปรากฏชัดเจนเกี่ยวกับการนำแผ่นไฮโดรฟอยล์มาใช้งาน ผู้วิจัยสังเกตเห็นคุณสมบัติของแผ่นไฮโดรฟอยล์ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการสร้างไม่แพง โดยการนำมาประยุกต์ใช้กับเรือทำได้ไม่ยาก และยังเป็นการช่วยลดการใช้พลังงาน ช่วยลดภาวะโลกร้อน รวมถึงช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บทความนี้จะนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ฟอยล์กับเรือ เพื่อลดความต้านทานเรือ

2. ทฤษฎี

เรือไฮโดรฟอยล์ เป็นเรือที่ติดตั้งแผ่นไฮโดรฟอยล์รูปทรงคล้ายปีกเครื่องบินไว้ใต้ท้องเรือ ซึ่งมีลักษณะด้านหน้าหนา ด้านบนมีความโค้ง ด้านใต้ปีกแบนราบ และเรียวแหลมที่ด้านหลัง เมื่อน้ำไหลผ่านฟอยล์ น้ำที่เคลื่อนที่ไปทางด้านบนของฟอยล์จึงมีอัตราเร็วมากกว่าด้านล่าง ทำให้ความดันด้านบนต่ำกว่าด้านล่างของฟอยล์ ซึ่งเป็นไปตามสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation) ส่งผลให้มีแรงยก (F_l , Lift force) และแรงดูด (F_d , Drag force) กระทำต่อฟอยล์ ผลรวมของเวกเตอร์แรงทั้งสองที่กระทำต่อฟอยล์ได้เป็นแรง F ดังแสดงในรูปที่ 1)



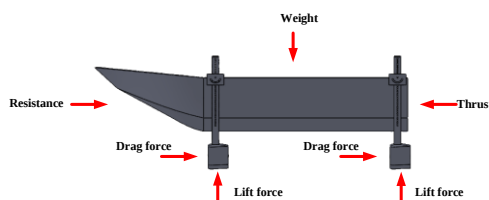
รูปที่ 1 แรงที่กระทำต่อฟอยล์

แรงยกและแรงดูดที่กระทำต่อฟอยล์ เป็นไปตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ จากสมการที่ (1) แรงยกจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของของไหล น้ำมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศจึงสร้างแรงยกได้ดีกว่าอากาศ แต่ฟอยล์ต้องแข็งแรงมากขึ้นด้วย

$$F_l = C_l \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad (1)$$

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad (2)$$

รูปที่ 2 แสดงแรงที่กระทำต่อเรือ แรงผลัก (Thrust force) ที่เกิดจากใบจักรผลักเรือให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้า แรงต้านทานเรือ (Ship resistance) เกิดจากความต้านทานระหว่างตัวเรือกับน้ำเนื่องจากความเสียดทานของน้ำ และความต้านทานของคลื่นน้ำและลม ฟอยล์ติดตั้งอยู่ใต้ท้องเรือตรงหัวเรือและท้ายเรือ เมื่อน้ำไหลผ่านฟอยล์ จะเกิดแรงยก (Lift force) และแรงดูด (Drag force) ตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ ถ้าแรงยกจากฟอยล์มีขนาดมากพอที่จะยกตัวเรือให้ลอยขึ้น จะทำให้ตัวเรือจมในน้ำได้น้อยลง และส่งผลให้แรงต้านทานเรือลดลงด้วย จะทำให้เรือเคลื่อนที่ไปด้านหน้าได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้จะไม่คำนึงถึงแรงลอยตัวเนื่องจากตั้งสมมติฐานว่า เรือถูกยกขึ้นพ้นผิวน้ำด้วยแรงยกจากฟอยล์



รูปที่ 2 แรงที่กระทำต่อเรือ

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกฟอยล์ 3 รูปแบบ ได้แก่ NACA4412 NACA63209 และ EPPLER874 ซึ่งมี

รูปทรงแตกต่างกันดังรูปที่ 3-5 ตามลำดับ [15] งานวิจัยนี้ฟอยล์ทั้งสามแบบมีความยาวคอर्ड 7 เซนติเมตร



รูปที่ 3 ฟอยล์แบบ NACA4412



รูปที่ 4 ฟอยล์แบบ NACA63209



รูปที่ 5 ฟอยล์แบบ EPPLER874

3. การออกแบบและสร้างเรือ

เรือมีขนาดความยาวตลอดลำ 2.88 เมตร ความกว้าง 1 เมตร ใช้เครื่องยนต์ขนาด 9.8 แรงม้า อัตราเร็วรอบเครื่อง 5,000 รอบ/นาที น้ำหนักตัวเรือ 60 กิโลกรัม เครื่องยนต์ 40 กิโลกรัม พวงมาลัย 20 กิโลกรัม บรรจุผู้โดยสารได้ 2 คนหนักรวม 140 กิโลกรัม รวมน้ำหนักทั้งหมด 260 กิโลกรัม หรือ 2,550 นิวตัน เพื่อยืนยันว่า ฟอยล์สามารถทำให้เรือหนัก 260 กิโลกรัม ยกตัวขึ้นได้ จึงได้ทดสอบกับโมเดลขนาดเล็กก่อน โดยมีขั้นตอนออกแบบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเรือโมเดลขนาดเล็กโดยใช้ทฤษฎีความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิต (Geometrical similarity) โดยกำหนดอัตราส่วนของมิติระหว่างขนาดของเรือจริงต่อขนาดของเรือโมเดลต้องมีค่าเท่ากันตามสมการ (3) ซึ่งผลการคำนวณเมื่อใช้อัตราส่วนของมิติขนาด $\lambda = 3.2$ แสดงในตารางที่ (1)

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (3)$$

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณทฤษฎีความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิตเมื่อใช้อัตราส่วนของมิติขนาด $\lambda = 3.2$

	ความสัมพันธ์	เรือจริง	เรือโมเดล
ความยาวตลอดลำ	$L_m = \frac{L_s}{\lambda}$	2.88 m	0.9 m
ความกว้าง	$B_m = \frac{B_s}{\lambda}$	1 m	0.3 m
ความเร็ว	$V_m = \frac{V_s}{\sqrt{\lambda}}$	5 m/s	2.8 m/s
น้ำหนักเรือ	$w_m = w_s \left(\frac{1}{\lambda}\right)^3$	260 kg	8 kg

ดังนั้น เรือโมเดลมีความยาวตลอดลำ 0.9 เมตร ความกว้าง 0.3 เมตร ทดสอบที่อัตราเร็ว 2.8 เมตร/วินาที ต้องใช้ก้อนน้ำหนักถ่วงให้ได้น้ำหนักรวมเท่ากับ 8 กิโลกรัม ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยคลื่นวิทยุบังคับ เรือโมเดลใช้ทดสอบฟอยล์ 3 ชนิด ได้แก่ NACA4412 NACA63209 และ EPPLER874 ใช้ฟอยล์ที่มีความยาวคอर्ड 0.07 เมตร ด้านหัวเรือใช้ฟอยล์รูปทรงตัววีตามท้องเรือ เพื่อให้เรือสามารถปรับระดับความสูงจากผิวน้ำได้เอง เพราะเมื่อฟอยล์จมลงไปได้น้ำจะเกิดแรงยกเพิ่มขึ้นทำให้หัวเรือยกตัวสูงขึ้นได้ง่าย และเมื่อเรือยกตัวเหนือผิวน้ำมากเกินไป แรงยกจะลดลงทำให้เรือลดระดับต่ำลงเอง เรือจึงยังยกตัวได้ขณะเลี้ยวหรือวิ่งเป็นทางโค้ง ส่วนด้านท้ายเรือใช้ฟอยล์รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู เนื่องจากท้ายเรือมีน้ำหนักจากเครื่องยนต์ เรือโมเดลและฟอยล์ทำด้วยไฟเบอร์กลาส และประมาณการค่าพื้นที่ระนาบของฟอยล์สองอันเท่ากับ $2 \times 0.07 \times 0.3 = 0.042$ ตารางเมตร ประเมินค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของฟอยล์จากสมการที่ (1) ได้ $C_l = 0.4767$ ตามที่แสดงใน (4)

$$C_l = \frac{8 \times 9.81}{\frac{1}{2} \times 1000 \times 2.8^2 \times 0.042} = 0.4767 \quad (4)$$

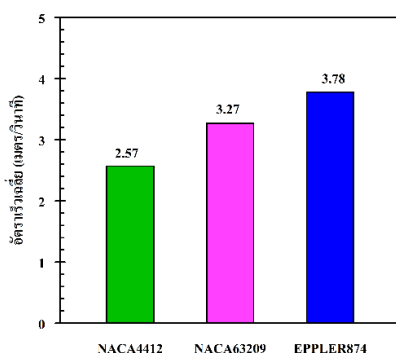


รูปที่ 6 เรือโมเดลบังคับ

ด้านหัวเรือติดฟอยล์รูปทรงตัววี (รูปซ้าย)

ด้านท้ายเรือติดฟอยล์รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (รูปขวา)

เนื่องจากมุมปะทะมีผลต่อแรงยก ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบหาค่ามุมปะทะที่ 3° 6° 9° และ 12° พบว่าเรียกตัวได้ดีที่มุมปะทะ 12° จึงเลือกทดสอบฟอยล์ทั้งสามชนิดกับเรือโมเดลบังคับวิทยุด้วยมุมปะทะ 12° ทำการทดสอบให้เรือวิ่งเป็นระยะทาง 30 เมตร จับเวลาที่ใช้เพื่อคำนวณหาค่าอัตราเร็วเฉลี่ย ทำการทดสอบซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้ง ผลการทดสอบได้อัตราเร็วเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 ผลการทดสอบค่าอัตราเร็วเฉลี่ยของเรือที่ติดตั้งฟอยล์ทั้งสามชนิดที่มุมปะทะ 12°

ผลการทดสอบ บ่งชี้ว่าเรือโมเดลจำลองติดฟอยล์ EPPLER874 มีอัตราเร็วเฉลี่ย 3.78 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นอัตราเร็วเฉลี่ยสูงกว่าฟอยล์อีกสองประเภท จึงเลือกใช้ฟอยล์ชนิด EPPLER874 สำหรับใช้กับเรือจริง

ขั้นตอนที่ 2 เลือกใช้ฟอยล์ EPPLER874 ทำด้วยไฟเบอร์กลาสกับเรือจริง โดยฟอยล์ของเรือโมเดลถูกขยายขนาดสำหรับเรือจริงตามทฤษฎีความคล้ายคลึงเชิงเรขาคณิต เรือโมเดลใช้ฟอยล์ที่มีความยาวคอर्ड 0.07 เมตร ดังนั้นฟอยล์ของเรือจริงต้องมีความกว้างคอर्डเท่ากับ $3.2 \times 0.07 = 0.224$ เมตร และความยาวเท่ากับ ความกว้างของเรือคือ 1 เมตร โดยติดตั้งฟอยล์หน้าและหลังรวมกัน 2 อัน อัตราเร็วเรือจริงกำหนดค่าออกแบบไว้ที่ 5 เมตร/วินาที โดยใช้สมการที่ (1)

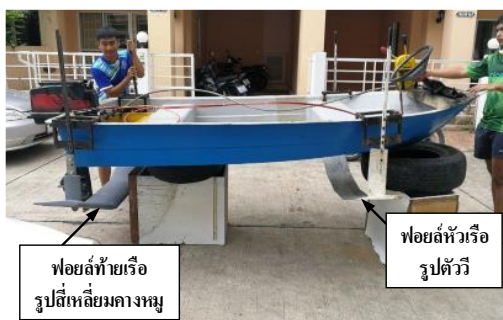
$$F_L = 0.4767 \times \frac{1}{2} \times 1000 \times 5^2 \times (2 \times 0.224 \times 1) \quad (5)$$

$$= 2670N$$

จากการทดสอบฟอยล์ EPPLER874 กับเรือจริง พบว่า ขณะที่เรือแล่นจะมีทริมท้ายมาก จึงได้ปรับเปลี่ยนความยาวคอर्डของฟอยล์ ดังนี้ ด้านหัวเรือใช้ฟอยล์รูปตัววีตามท้องเรือมีขนาดความยาวคอर्डเพียง 0.2 เมตร ลดลงจากค่าออกแบบที่ 0.224 เมตร เพราะไม่ต้องการให้ด้านหัวเรือยกตัวมาก ส่วนด้านท้ายเรือใช้ฟอยล์แบบสี่เหลี่ยมคางหมูโดยเพิ่มความยาวคอर्डจาก 0.224 เมตร เป็น 0.3 เมตร เพราะน้ำหนักเครื่องยนต์อยู่ด้านท้ายเรือ ใช้สมการที่ (1) ประมาณค่าแรงยกที่กระทำต่อฟอยล์ได้เท่ากับ 2,979 นิวตัน ดังแสดงในสมการที่ (6) จากนั้นติดตั้งระบบพวงมาลัยเพื่อบังคับทิศทางเรือได้สะดวกขึ้น

$$F_L = 0.4767 \times \frac{1}{2} \times 1000 \times 5^2 \times ((0.2 \times 1) + (0.3 \times 1)) \quad (6)$$

$$= 2979N$$



รูปที่ 8 เรือไฮโดรฟอยล์ EPPLER874

4 ผลการทดสอบเรือ

4.1 การทดสอบหาค่ามุมปะทะที่เหมาะสมของเรือ

ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของฟอยล์ $C_L = 0.4767$ เป็นค่าออกแบบที่ประเมินจากการทดสอบเรือโมเดล เพื่อตรวจสอบเบื้องต้นว่าฟอยล์สามารถยกเรือขึ้นได้ โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะขึ้นกับมุมปะทะ ดังนั้นในการใช้ฟอยล์กับเรือจริงจำเป็นต้องทดสอบหาค่ามุมปะทะที่เหมาะสมกับเรือ ด้วยการให้เรือวิ่งเป็นทางตรง โดยทดสอบที่มุมปะทะ 3° ถึง 14° เปรียบเทียบผลของค่ามุมปะทะต่อการแล่นของเรือ ดังนี้

ทดสอบมุมปะทะ 3° เรือยังไม่ยกตัว ด้วยน้ำหนักของเครื่องที่ติดตั้งอยู่ด้านท้าย เรือจึงมีทริมท้ายกรณีนี้เรือจะยังไม่เกิดการยกตัว และฟอยล์จะจมอยู่ในน้ำทั้งอัน

รูปที่ 9 อองสามมุมปะทะฟอยล์ 3°

ทดสอบมุมปะทะ 12° เมื่อเพิ่มอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ เรือจะยกตัวขึ้นได้อย่างมีเสถียรภาพ และ

ต่อเนื่องยาวนานทั้งทางตรงและทางโค้ง ดังนั้นมุมปะทะ 12° เป็นมุมที่เหมาะสม

รูปที่ 10 อองสามมุมปะทะฟอยล์ที่ 12° รูปที่ 11 อองสามมุมปะทะฟอยล์ที่ 14°

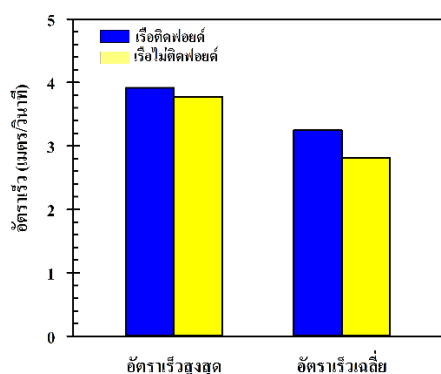
ทดสอบมุมปะทะ 14° เป็นค่ามุมปะทะสูงสุดที่ทำให้เรือยกตัวขึ้นได้ เรือยกตัวขึ้นได้สูงแต่ไม่มั่นคง และถ้ามุมปะทะมากกว่านี้ การยกตัวของเรือจะล้มเหลว แสดงว่า ถ้าเพิ่มมุมปะทะเกินกว่า 14° แรงยกจะลดลง

4.2 ทดสอบหาอัตราเร็วของเรือ และการบริโภคน้ำมัน

เชื้อเพลิง

ทำการทดสอบที่ระยะทาง 1,000 เมตร โดยใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์ เพื่อวัดค่าอัตราเร็วสูงสุดของเรือ และอัตราเร็วเฉลี่ยที่เรือแล่นในระยะทาง 1,000 เมตร ทำการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ได้ค่าอัตราเร็วเรือไฮโดรฟอยล์เปรียบเทียบกับเรือที่ไม่ติดฟอยล์ แสดงดังรูปที่ 12 อัตราเร็วสูงสุดของเรือที่ไม่ติดฟอยล์ เท่ากับ 3.78 เมตร/วินาที อัตราเร็วสูงสุดของเรือไฮโดรฟอยล์

เท่ากับ 3.92 เมตร/วินาที หรือเร็วขึ้นร้อยละ 3.70 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเร็วเฉลี่ยของเรือ พบว่าเรือไม่ติดฟอยล์ มีอัตราเร็วเฉลี่ย 2.81 เมตร/วินาที เมื่อติดฟอยล์ ทำให้อัตราเร็วเฉลี่ยของเรือ เท่ากับ 3.25 เมตร/วินาที หรือเร็วขึ้นร้อยละ 15.65



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบอัตราเร็วของเรือไฮโดรฟอยล์กับเรือที่ไม่ได้ติดฟอยล์

ถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร จุน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 1.257 ลิตร เมื่อเรือแล่นได้ 1,000 เมตร วัดระดับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ลดลงไป เพื่อหาปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ผลการทดสอบเรือที่ติดฟอยล์เปรียบเทียบกับเรือที่ไม่ติดฟอยล์ แสดงในตารางที่ 3 การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงจาก 0.614 ลิตร/กิโลเมตร เหลือเพียง 0.317 ลิตร/กิโลเมตร เรือไฮโดรฟอยล์บริโภคน้ำมันลดลงร้อยละ 48.37 เมื่อเทียบกับเรือที่ไม่ติดฟอยล์

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาอัตราเร็วเฉลี่ยของเรือ และปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ประเภทเรือ	อัตราเร็วเรือเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	ปริมาณการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/กิโลเมตร)
เรือไม่ติดฟอยล์	2.81	0.614
เรือติดฟอยล์	3.25	0.317

เป้าหมายที่ใช้ในการออกแบบ คืออัตราเร็วเรือ 5 เมตร/วินาที แต่อัตราเร็วที่เรือแล่นได้จริง คือ 3.25 เมตร/วินาที ทั้งนี้คาดคะเนว่าน่าจะมีสาเหตุสองประการ คือ 1) การลดความยาวคอร์ดด้านหัวเรือลงเพื่อรักษาเสถียรภาพของเรือไม่ให้เซ็ดหน้ามากเกินไป และ 2) สภาพของคลื่นน้ำและลมในวันที่ทดสอบ อย่างไรก็ตาม เรือไฮโดรฟอยล์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีอย่างมีเสถียรภาพ แผ่นฟอยล์ช่วยยกตัวเรือขึ้นได้ จึงทำให้พื้นที่ผิวเปียกของเรือ หรือพื้นที่เปลือกเรือที่จมอยู่ในน้ำน้อยลง ความต้านทานเรือจึงลดลง ซึ่งส่งผลทำให้เรือแล่นได้เร็วขึ้น และมีการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการลดความต้านทานเรือโดยการใส่แผ่นไฮโดรฟอยล์เพื่อยกตัวเรือขึ้นจากน้ำ ขณะที่เรือเคลื่อนที่ วิธีการทดสอบฟอยล์ได้ใช้เรือโมเดลซึ่งย่อขนาดจากเรือจริงโดยใช้อัตราส่วนของมิติขนาดเท่ากับ 3.2 ทดสอบกับฟอยล์ 3 ชนิด ได้แก่ NACA4412 NACA63209 และ EPPLER874 ผลการทดลอง พบว่าฟอยล์ EPPLER874 ที่มีความยาวคอร์ด 7 เซนติเมตรมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการยกตัวเรือได้ดี และให้ค่าอัตราเร็วได้ดี จึงเลือกใช้ฟอยล์ EPPLER874 กับเรือจริงเรือไฮโดรฟอยล์มีขนาดความยาวตลอดลำ 2.88 เมตร ความกว้าง 1 เมตร ใช้เครื่องยนต์ 9.8 แรงม้า ติดตั้งฟอยล์ EPPLER874 ทำมุมปะทะ 12° เมื่อเปรียบเทียบกับเรือลำเดียวกันที่ไม่ติดตั้งฟอยล์ พบว่า อัตราเร็วเรือไฮโดรฟอยล์มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.65 และการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 48.37

6. สัญลักษณ์

- A คือ พื้นที่ระนาบของฟอยล์ (m^2)
 C_l คือ สัมประสิทธิ์ของแรงยก (Lift Coefficient)
 C_d คือ สัมประสิทธิ์ของแรงดูด (Drag Coefficient)

F_i คือ แรงยกที่กระทำต่อฟอยล์ (N)
 F_d คือ แรงดูดที่กระทำต่อฟอยล์ (N)
 l คือ ความยาวคอร์ด (m)
 L_s คือ ความยาวของเรือจริง (m)
 L_m คือ ความยาวของเรือโมเดล (m)
 B_s คือ ความกว้างของเรือจริง (m)
 B_m คือ ความกว้างของเรือจำลอง (m)
 T_s คือ ความลึกของเรือจริง (m)
 T_m คือ ความลึกของเรือจำลอง (m)
 V คือ อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านฟอยล์ (m/s)
 α คือ มุมปะทะของฟอยล์ (degree)
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
 λ คือ อัตราส่วนของมิถิขนาต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะพาณิชย์นาวินานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่เอื้อเฟื้อกำลังคน วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. D. Chambers, K. R. Stokes, F. C. Walsh and R. J. K. Wood, "Modern approaches to marine antifouling coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol. 201 no. 6, pp. 3642-3652, 2006.
- [2] H. Yang, J. Sun, Y. Yang, L. Chen, H. Gao, and H. Sun, "Study on the effect of marine biofouling for the ship resistance," in *OCEANS 2021: San Diego – Porto*, 20-23 Sept. 2021, pp. 1-7, 2021.
- [3] A. M. Kracht, "Design of bulbous bows," *SNAME Transactions*, vol. 86, pp.197-217, 1978.
- [4] L. Jie, Z. Bao-Ji, and X. Ning, "Research on Design Optimization of High-Speed Ship Bulbous Bow Based on Nelder-Mead Algorithm," *Journal of Ship Production and Design*, vol. 38, no. 01, pp. 28-38, 2022.
- [5] R. Latorre, "Ship hull drag reduction using bottom air injection," *Ocean Engineering*, vol. 24, no. 2, pp. 161-175, 1997.
- [6] S. A. Mäkiharju, M. Perlin, and S. L. Ceccio, "On the energy economics of air lubrication drag reduction," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 412-422, 2012.
- [7] Z. He, T. Sun, L. Zou, Y. Jiang, and L. Duan, "Ventilated cavity flows behind a backward facing step with a combination computational fluid dynamics and Error Back Propagation algorithm," *Ocean Engineering*, vol. 260, 2022.
- [8] J. Jang, S. H. Choi, S.-M. Ahn, B. Kim, and J. S. Seo, "Experimental investigation of frictional resistance reduction with air layer on the hull bottom of a ship," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 363-379, 2014.
- [9] F. Cucinotta, E. Guglielmino, F. Sfravara, and C. Strasser, "Numerical and experimental investigation of a planing Air Cavity Ship and its air layer evolution," *Ocean Engineering*, vol. 152, pp. 130-144, 2018.
- [10] H. Wang, K. Wang, and G. Liu, "Drag reduction by gas lubrication with bubbles," *Ocean Engineering*, vol. 258, 2022.

- [11] T. Tanaka, Y. Oishi, H. J. Park, Y. Tasaka, Y. Murai and C. Kawakita, " Frictional drag reduction caused by bubble injection in a turbulent boundary layer beneath a 36- m- long flat-bottom model ship," *Ocean Engineering*, vol. 252, 2022.
- [12] KI. Kumagai, Y. Takahashi, and Y. Murai, "Power-saving device for air bubble generation using a hydrofoil to reduce ship drag: Theory, experiments, and application to ships," *Ocean Engineering*, vol. 95, pp. 183-194, 2015.
- [13] E. Bockmann and S. Steen, "Model test and simulation of a ship with wavefoils," *Applied Ocean Research*, vol. 57, pp. 8-18, 2016.
- [14] M. A. Budiyanto, M. F. Syahrudin, M. A. Murdianto, and D. Pham, "Investigation of the effectiveness of a stern foil on a patrol boat by experiment and simulation," *Cogent Engineering*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [15] <http://airfoiltools.com>

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน
การศึกษา: วิศวกรรมศาสตรดุษฎี
บัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
งานวิจัยที่สนใจ : กลศาสตร์ของ
ไหล เครื่องยนต์ดีเซลในเรือ
การหล่อลื่น การคำนวณเชิงตัวเลข



วลีพรรณ กันเนื่อง
การศึกษา: วิศวกรรมศาสตร-
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
งานวิจัยที่สนใจ : โครงสร้างเรือ
การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
การหล่อลื่น



จรุพันธุ์ หนูสมตน
การศึกษา: วิศวกรรมศาสตรดุษฎี
บัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
งานวิจัยที่สนใจ : กลศาสตร์ของ
ไหล การออกแบบเครื่องจักร-
ใบจักรเรือ วิศวกรรมงานระบบ