

การวิเคราะห์สมรรถนะเชิงอุทกพลศาสตร์ของใบจักรเรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลในระบบผลักดันน้ำ

Hydrodynamic Performance Analysis of Hull Propellers for Enhancing Flow Efficiency in Water Propulsion Systems

จารุพันธ์ หนูสมคน*, กนกอร รัตนากิจ, อนุสรณ์ ผ่องประภา, สอนทยา จำเดช และ สมบูรณ์ อัสวรจันนท์

Jaruphant Noosomton*, Kanok-on Rodjanakid, Anusorn Phongprapa, Sonthaya Khamdech

and Somboon Asawarujanon

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

16/10 ถนนเลียบคลองทวีวัฒนา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10170

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน : jaruphant.noo@bkkthon.ac.th

วันที่รับบทความ: 12 ธันวาคม 2568 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 : 25 กุมภาพันธ์ 2569 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 : 8 พฤษภาคม 2569

วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 13 พฤษภาคม 2569

บทคัดย่อ : บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการออกแบบใบจักรเรือชนิดจมผิว (Surface Piercing Propeller: SPP) แบบ 3 ใบ ที่มีมุมโค้งเอน (Rake Angle) 22 องศา ที่มีการปรับปรุงคุณลักษณะรูปทรงเพื่อใช้ในระบบผลักดันน้ำ สำหรับติดตั้งกับเครื่องยนต์เรือผลักดันน้ำ โดยเน้นการออกแบบใบจักรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว และทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 16 แรงม้า โดยทดสอบสมรรถนะในอุโมงค์น้ำแบบเปิดเพื่อจำลองสภาวะการทำงานจริง ผลการทดสอบพบว่าใบจักรที่ออกแบบใหม่สามารถทำความเร็วในการผลักดันน้ำได้สูงสุด 6 น็อต (11.112 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ที่ระดับผิวน้ำ ที่มุมเพลานใบ 36 องศา (โดยประมาณ) และระยะจมใบ 30 เซนติเมตร ทำความเร็วเฉลี่ยได้ 5.6 น็อต (10.371 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) นอกจากนี้ยังช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลงร้อยละ 16 เมื่อเปรียบเทียบกับใบจักรมาตรฐานทั่วไปในท้องตลาด ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงมุมกวาดของใบจักรมีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพแรงดันและการประหยัดพลังงานสำหรับการใช้งานทางเรือ

คำสำคัญ : ออกแบบใบจักร, ปลายปีกใบจักร, ใบจักรโค้งเอน

Abstract: This research presents a case study on the design of a Surface Piercing Propeller (SPP) with an optimized geometry for water propulsion systems. The study focuses on a 3-blade propeller featuring a 12-inch diameter and a 22-degree rake angle, specifically engineered for integration with a 16-horsepower engine. Performance evaluations were conducted in an open-water flume to simulate real-world operational conditions. The experimental results demonstrated that the newly designed SPP achieved a maximum propulsion speed of 6 knots (11.112 km/h) when positioned at the water surface. In contrast, at a submersion depth of 30 cm and an approximate shaft angle of 36 degrees, the propeller maintained an average speed of 5.6 knots (10.371 km/h). Furthermore, the optimized propeller

design contributed to a 16% reduction in fuel consumption compared to conventional standard propellers available in the market. These findings indicate that the enhancement of the propeller's rake angle plays a critical role in improving thrust efficiency and energy conservation for flood mitigation missions.

Keywords: Design Blade, Tip Blade, Camber Blade.

1. บทนำ

จาก “แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี” [1] (ปรับปรุงครั้งที่ 1 พ.ศ. 2566-2580) โดยคณะกรรมการขับเคลื่อนแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาและพัฒนาทรัพยากรน้ำของประเทศในระยะ 20 ปี โดยยึดหลักแนวทางตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างการอนุรักษ์ฟื้นฟูการพัฒนาแหล่งน้ำ และการบริหารจัดการเชิงลุ่มน้ำ ทั้งระบบ ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ที่สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาทรัพยากรน้ำ ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ได้แก่ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) แผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนแม่บทประเด็นที่ 19 การจัดการน้ำทั้งระบบ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 เป็นต้น โดยได้มีการบูรณาการหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมากกว่า 50 หน่วยงาน เพื่อร่วมกันกำหนดกรอบแนวทางการพัฒนาด้านทรัพยากรน้ำ คำเป้าหมาย ตัวชี้วัด กลยุทธ์ แผนงาน ที่เชื่อมโยงของตัวชี้วัดระดับผลสัมฤทธิ์ ผลกระทบ และดัชนีตัวชี้วัดในแผนระดับต่างๆ ซึ่งได้นำประเด็นสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของโลก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Variability) มาตรการการแก้ปัญหาที่อาศัยธรรมชาติ (Nature-based Solutions) การปรับตัวโดยอาศัยระบบนิเวศ เศรษฐกิจหมุนเวียน (Bio-Circular-Green Economy) เทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อนำมากำหนดเป็นเป้าหมายและแนวทางการพัฒนา ซึ่งมีผลทำให้รูปแบบการบริหารจัดการน้ำเปลี่ยนแปลงไปโดยมุ่งเน้นโครงการขนาดเล็กที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำ และการบริหารจัดการที่ไม่ใช่

สิ่งก่อสร้างมากขึ้น พร้อมทั้งได้มีการจัดประชุมรับฟังความคิดเห็น 22 กลุ่มน้ำ เพื่อรับฟังความคิดเห็น ข้อเสนอแนะของผู้แทนคณะกรรมการลุ่มน้ำ องค์กรผู้ใช้น้ำ และภาคประชาชน นำมากำหนดแนวทางการพัฒนาแผนแม่บทดังกล่าว [1] โดยได้กำหนดวิสัยทัศน์ “ประเทศไทยมีการบริหารทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน โดยการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนภายใต้การพัฒนาอย่างสมดุลและมีพลวัต เพื่อความมั่นคงด้านน้ำในทุกมิติ” [1]

1.1 ประเด็นปัญหาและการปรับปรุง

ก) การวิเคราะห์สถานการณ์ด้านทรัพยากรน้ำยังไม่ครอบคลุมกับสถานการณ์โลก จึงต้องมีการนำประเด็นสถานการณ์ปัจจุบัน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มาตรการการแก้ปัญหาที่อาศัยธรรมชาติ การปรับตัวโดยอาศัยระบบนิเวศ เทคโนโลยีดิจิทัล ช่องว่างการดำเนินงานที่ผ่านมา มาวิเคราะห์เพิ่มขึ้น

ข) การเชื่อมโยงเป้าหมายกับแผนระดับชาติ / นานาชาติยังไม่ครอบคลุมกับประเด็นใหม่ที่เพิ่มขึ้นจึงได้เชื่อมโยงตัวชี้วัดและเป้าหมายเพิ่มเติม ได้แก่ แผนพัฒนาเศรษฐกิจฯ ฉบับที่ 13 SENDAI Frame Work BCG

ค) กรอบแนวทางการพัฒนาเดิมยังขาดการมองในมิติของระบบนิเวศทั้งระบบ จึงได้ปรับปรุงกรอบจาก 6 ด้านเดิม เป็น 5 ด้าน โดยการนำด้าน 4 คุณภาพน้ำ และ 5 พื้นฟูป่าต้นน้ำรวมกันเพื่อมองภาพรวมของนิเวศอย่างเป็นระบบ

ง) การกำหนดเป้าหมายไม่ได้นำปัจจัยด้านงบประมาณมาพิจารณา ทำให้ผลการดำเนินงานจริงไม่สอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ จึงได้มีการนำปัจจัย

เรื่องงบประมาณมาพิจารณา เพื่อให้การดำเนินงานสอดคล้องกับความเป็นจริง

จ) กระบวนการมีส่วนร่วมยังไม่เปิดโอกาสให้ประชาชนกำหนดกรอบการพัฒนา จึงเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วม ตั้งแต่กระบวนการระบุปัญหา กำหนดแนวทางการพัฒนา และให้ข้อเสนอแนะ

ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นกรอบแนวทางเชิงยุทธศาสตร์นโยบาย แต่ในทางปฏิบัติและการนำยุทธศาสตร์มาขยายผลเป็นรูปธรรมนั้น พบว่าไม่สามารถดำเนินการได้ จากหลายๆ สาเหตุและปัจจัย ทั้งในระดับจุลภาค ไม่ว่าจะเป็นระดับชุมชน ตำบล อำเภอ อบต. อบจ. หน่วยงานราชการส่วนท้องถิ่น ที่ขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่อง ภูมิศาสตร์ทางน้ำ ภูมิศาสตร์ผังเมือง แผนภูมิการวางแผนทางแบบขั้นบันไดในการแก้ปัญหา ไปจนถึงระดับมหภาค ไม่ว่าจะเป็น ระดับจังหวัด กรม กอง หรือแม้แต่กระทรวงที่เกี่ยวข้องไปจนถึงระดับผู้บริหาร ที่ไม่มีความชัดเจน ไม่มีความรู้ ขาดความเข้าใจ หวังเพียงผลประโยชน์ จนทำให้การบริหารจัดการน้ำไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นรูปธรรม ขาดการบูรณาการ แม้แต่การทวงคืนน้ำท่วม น้ำแล้ง น้ำเสีย ขาดการแจ้งเหตุล่วงหน้า ขาดการเตรียมความพร้อม จึงได้เกิดปัญหาน้ำท่วมทุกปี น้ำระบายไม่ทัน คลั่งดินเงิน

จากสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรุนแรงในหลายภูมิภาคซึ่งเกิดซ้ำซาก ไม่เพียงแต่สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและคุณภาพชีวิตของประชาชนเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจในวงกว้าง แม้ปัจจุบันจะมีการประยุกต์ใช้เรือหางยาวและเครื่องสูบน้ำแบบพญานาคเพื่อเร่งระบายน้ำในลักษณะบรรเทาปัญหาเฉพาะหน้า ทว่าแนวทางดังกล่าวยังประสบปัญหาด้านประสิทธิภาพเชิงอุทกพลศาสตร์ที่ไม่สอดคล้องกับสภาวะการทำงานที่ต้องการแรงขับเคลื่อนน้ำปริมาณมาก การใช้ใบจักรเรือมาตรฐานที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงและประสิทธิภาพการจัดการน้ำไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาใบจักรเรือรูปแบบใหม่ที่มีคุณลักษณะรูปทรงที่เหมาะสมและผ่านกระบวนการออกแบบตามหลักวิศวกรรมอุทกพลศาสตร์ [22,28] เพื่อยกระดับสมรรถนะการผลักดันน้ำและแก้ไขช่องว่างทางเทคนิคดังกล่าว เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานอย่างมีนัยสำคัญและเพิ่มประสิทธิภาพในการบรรเทาอุทกภัย



รูปที่ 1 ภาพเหตุการณ์อุทกภัยในอุโบสถวัดภูมินทร์ จ.น่าน ณ วันที่ 24 ก.ค. 2568 [2]



รูปที่ 2 ภาพเหตุการณ์อุทกภัย ณ Lalana Cafe อ.ท่าวังผา จ.น่าน ณ วันที่ 23 ก.ค. 2568 [2]



รูปที่ 3 ภาพเหตุการณ์อุทกภัยในอำเภอเมือง จ.น่าน ช่วงเช้า วันที่ 25 ก.ค. 2568 [3]



รูปที่ 4 ภาพเหตุการณ์อุทกภัยใน อ.คอยสะเก็ด, อ.แม่แตง, อ.เวียงแหง, อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ ช่วงวันที่ 15-17 ส.ค. 2568 [4]



รูปที่ 5 ภาพเหตุการณ์อุทกภัยในอำเภอแม่จิม จ.น่าน ณ วันที่ 25 ก.ค. 2568 [3]



รูปที่ 6 ภาพเหตุการณ์อุทกภัยถ่ายตอนเวลา 12.12 น. จ.แพร่ วันที่ 25 กรกฎาคม 2568 [3]



รูปที่ 7 ภาพเหตุการณ์อุทกภัยใน อ.หาญใหญ่ จ.สงขลา วันที่ 26 พฤศจิกายน 2568 [3]



รูปที่ 8 ปฏิบัติการเก็บเรือผลักดันน้ำ จ.เชียงใหม่ สังกัด หน่วยเฉพาะกิจ กองทัพเรือ [5]



รูปที่ 9 ปฏิบัติการเก็บเรือผลักดันน้ำ จ.สงขลา สังกัด หน่วยเฉพาะกิจ กองทัพเรือ [5]

ตารางที่ 1 สถิติปริมาณน้ำฝนสะสม 24 ชั่วโมง วันที่ 23 ก.ค. 2568 เวลา 10.00 น. จ.น่าน [4]

สถิติปริมาณน้ำ (หน่วย มม.)	สถานีตรวจวัด	ว/ด/ป	เวลา
310	บ้านปางมะโอ จ.พะเยา	23-07-2025	10.00
298	บ้านขุนน้ำพริก จ.น่าน	23-07-2025	10.00
297.5	บ้านน้ำลาว จ.พะเยา	23-07-2025	10.00
292.5	บ้านสิบสองพัฒนา จ.พะเยา	23-07-2025	10.00

สถิติ ปริมาณน้ำ (หน่วย มม.)	สถานีตรวจวัด	ว/ด/ ป	เวลา
285.5	บ้านปางคำเหนือ จ. พะเยา	23- 07- 2025	10.00
285.2	บ้านผาเวียง จ.น่าน	23- 07- 2025	10.00
282	บ้านสกาตกลาง จ. น่าน	23- 07- 2025	10.00
280	หน่วยจัดการต้นน้ำ น้ำข่วง จ.น่าน	23- 07- 2025	12.00
279.5	บ้านผาน้ำอ้อย จ. น่าน	23- 07- 2025	10.00
276.6	หน่วยพิทักษ์อุทยาน แห่งชาติที่ สก.2 (ภูลังกา) จ.พะเยา	23- 07- 2025	12.00
275.4	หน่วยจัดการต้นน้ำ น้ำหามวหมอก จ.น่าน	23- 07- 2025	12.00
275	สะพานน้ำแม่คะ จ. พะเยา	23- 07- 2025	12.00
272.5	บ้านปางพริก จ. พะเยา	23- 07- 2025	10.00
266.2	หน่วยศึกษาการ พัฒนาการอนุรักษ์ ต้นน้ำจิม จ.พะเยา	23- 07- 2025	12.00

ข้อมูลจากคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ วันที่ 23 ก.ค. 2568 เวลา 10.00 น. แสดงให้เห็นปริมาณน้ำฝนสะสม 24 ชั่วโมงในหลายพื้นที่ทั่วตอนบนของ จ.น่าน เกือบแต่ละตัวเลข 300 มม. ขณะที่ปกติแล้วปริมาณน้ำฝนตลอดทั้งเดือน ก.ค. ของ จ.น่าน เฉลี่ยอยู่ที่ 232.98 มม.

1.2 ปัญหาทางเทคนิคและResearch Gap

1.2.1. ปัญหาทางเทคนิค (Technical Problems) เกิดจากการนำใบจักรแบบทั่วไปมาใช้งานผิวดูประสงค์ กล่าวคือ

- **ประสิทธิภาพเชิงอุทกพลศาสตร์ไม่เหมาะสม** การใช้เรือหางยาวและเครื่องสูบน้ำแบบพญานาคในปัจจุบันเป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ซึ่งมีประสิทธิภาพการจัดการน้ำไม่เป็นไปตามเป้าหมาย เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อสร้างแรงขับเคลื่อนน้ำ (Thrust) ในปริมาณมากสำหรับสภาวะน้ำท่วมโดยเฉพาะ

- **ความสิ้นเปลืองพลังงานสูง** การใช้ใบจักรเรือที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดส่งผลให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักแต่ได้แรงดันน้ำน้อย ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง

- **การเกิดโพรงอากาศ (Aeration)** ใบจักรทั่วไปเมื่อต้องทำงานในสภาวะน้ำท่วมที่มีความขุ่นและมีเศษวัสดุสูง มักเกิดปัญหาความดันต่ำที่หน้าใบจักรจนเกิดโพรงอากาศ ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่สามารถส่งถ่ายกำลังได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ หรือที่เรียกว่าอาการ "ใบจักรฟรี" (Slip)

1.2.2. ช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap) จากการทบทวนวรรณกรรมและสถานการณ์ปัจจุบัน พบช่องว่างที่งานวิจัยนี้ต้องการเติมเต็มกล่าวคือ

- **การขาดองค์ความรู้ด้านการออกแบบใบจักรเพื่อภารกิจผลักดันน้ำโดยเฉพาะ** งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการออกแบบใบจักรเพื่อความเร็วของตัวเรือ แต่ยังขาดการศึกษาและออกแบบรูปทรงใบจักร โดยเฉพาะชนิดจมผิว (Surface Piercing Propeller: SPP) ที่ปรับปรุงมุมโค้ง

เอน (Rake Angle) เพื่อเน้นประสิทธิภาพในการ "ผลักดันมวลน้ำ" ในสภาวะน้ำท่วม

- **ข้อจำกัดด้านมุมโค้งเอน (Rake Angle)** ใบจักรเรือหางยาวทั่วไปมีมุมโค้งเอนต่ำ ทำให้พื้นที่ผิวกระทำของใบและการกระจายความดันไม่เหมาะสมกับการผลักดันน้ำที่ระดับผิวน้ำ งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการเพิ่มมุมโค้งเอนเป็น 22 องศา เพื่ออุดช่องว่างดังกล่าว

- **การขาดข้อมูลเปรียบเทียบในสภาวะการทำงานจริง** ยังมีการศึกษาจำนวนน้อยที่เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่าง "ใบจักรทั่วไปในท้องตลาด" กับ "ใบจักรที่ออกแบบใหม่" ในมิติของอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงและแรงขับเคลื่อนน้ำในสภาวะกึ่งจมกึ่งลอย (Surface Piercing) เพื่อใช้ในการบรรเทาอุทกภัยอย่างเป็นรูปธรรม

1.3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods)

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของอุปกรณ์หลักและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เพื่อทดสอบสมรรถนะของใบจักรเรือชนิดจมผิว (Surface Piercing Propeller: SPP) ที่ออกแบบขึ้นใหม่ ดังนี้

1.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ (Materials and Equipment)

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. **ใบจักรต้นแบบ (Prototype Propeller)** ใบจักร SPP แบบ 3 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ผลิตจากวัสดุโลหะผสมที่มีความแข็งแรงสูง โดยมีลักษณะเด่นคือการออกแบบมุมโค้งเอน (Rake Angle) ที่ 22 องศา

2. **เครื่องยนต์ทดสอบ** เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาด 16 แรงม้า (4,200 รอบต่อนาที) ปริมาตรกระบอกสูบ 420–425 ซี.ซี. ระบบวาล์วเหนือลูกสูบ (V-OHV)

3. **เครื่องมือวัด** ชุดเครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) สำหรับตรวจสอบความเร็วรอบของเพลาลูกพัด (n) และชุดเกจวัดแรงเชื้อเพลิงเพื่อหาอัตราสิ้นเปลือง

4. **สถานที่ทดสอบ** อุโมงค์น้ำแบบเปิด (Open-water tunnel) ที่สามารถควบคุมความเร็วการไหลของน้ำและปรับระดับการจมของใบจักรได้

1.3.2 วิธีการวิจัยและขั้นตอนการทดลอง (Research Methodology & Procedures)

กระบวนการวิจัยดำเนินการตามขั้นตอนเชิงทดลอง (Experimental Design) ดังนี้

1. การเตรียมการและกำหนดเงื่อนไขการทดสอบ (Preparation)

- ติดตั้งเครื่องยนต์และชุดเพลาลูกพัดใบจักรเข้ากับโครงสร้างประกอบในอุโมงค์น้ำ

- กำหนดระดับความเร็วการไหลของน้ำ (V_A) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์กำลังหัว (J)

2. การดำเนินการทดสอบ (Testing Procedures)

ทำการทดสอบโดยแบ่งสภาวะการทำงานของใบจักรเป็น 2 รูปแบบหลัก เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง

- **สภาวะจมกึ่งลอยกึ่งจม (Surface Level)** ติดตั้งใบจักรให้จมน้ำเพียงครึ่งเดียว โดยตั้งมุมเพลาลูกพัดระหว่าง 28 - 36 องศา เพื่อจำลองการทำงานของเรือหางยาวที่ใช้ความเร็วสูง

- **สภาวะจมมิดใบ (Submerged Level)** ติดตั้งใบจักรให้จมน้ำที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการสร้างแรงขับในขณะบรรทุกหนักหรือต้องการแรงฉุดลากสูง

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

ในแต่ละสภาวะ จะทำการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์และวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้

- วัดแรงขับ (Thrust, T) และแรงบิด (Torque, Q) ที่เกิดขึ้น

- บันทึกความเร็วรอบของเพลาลูกพัด (n) และความเร็วของน้ำ (V_A)

- ตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วยเวลา

4. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Analysis)

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ไร้มิติ (Dimensionless Coefficients) ตามหลักวิศวกรรมเพื่อประเมินสมรรถนะ ดังนี้

- สัมประสิทธิ์แรงขับ, $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$,
- สัมประสิทธิ์แรงบิด, $K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$
- ประสิทธิภาพน้ำเปิด (Open Water Efficiency) }
 $\eta_o = \frac{J K_T}{2\pi K_Q}$

5. การสังเกตและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางกายภาพ (Physical Observation)

- ศึกษาการเกิดโพรงอากาศ (Aeration) และการดึงอากาศ (Ventilation) ผ่านการบันทึกภาพความเร็วสูง เพื่อวิเคราะห์ห่อหุ้มของมุม Rake 22 องศา ที่มีต่อการลดการหมุนวนของน้ำที่ปลายใบ (Tip Vortex) และการคงสภาพแรงขับเคลื่อนในสภาวะน้ำขุ่นหรือมีเศษวัสดุ

1.3.3 การทดสอบสมรรถนะ (Performance Testing) ทำการทดสอบในอุโมงค์น้ำเพื่อจำลองสภาวะการทำงานจริง โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 สภาวะหลัก กล่าวคือ

- สภาวะระดับผิวน้ำ (Surface Level) ติดตั้งใบจักรให้จมถึงลอยกึ่งจมที่ระดับผิวน้ำ โดยมีมุมเพลลาขับประมาณ 28 - 36 องศา

- สภาวะจมมิดใบ (Submerged Level) ติดตั้งใบจักรให้มีระยะจมใบ 30 เซนติเมตร

1.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

- วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ไร้มิติ เป็นการคำนวณสัมประสิทธิ์แรงขับ (K_T), สัมประสิทธิ์แรงบิด (K_Q), และประสิทธิภาพในน้ำเปิด (η_o) เพื่อเปรียบเทียบกับใบจักรทั่วไปในท้องตลาด

- การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างใบจักรที่ออกแบบใหม่กับใบจักรทั่วไปในท้องตลาด

- การสังเกตปรากฏการณ์ทางอุทกพลศาสตร์ ศึกษาการเกิดโพรงอากาศ (Aeration) และการดึงอากาศเข้าสู่ใบจักร

(Ventilation) เพื่ออธิบายประสิทธิภาพการสร้างแรงขับเคลื่อน

1.3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Experimental Apparatus)

การทดลองนี้ดำเนินการในสภาวะภาคสนาม (Field Testing) โดยใช้อุปกรณ์หลักดังนี้

1. เรือทดสอบ ติดตั้งเครื่องยนต์เบนซินขนาด 16 แรงม้า

2. ใบจักรทดสอบ ใบจักรที่ออกแบบใหม่ (3 ใบ, 12 นิ้ว, Rake 22°) และใบจักรมาตรฐานในท้องตลาด

3. ระบบวัดความเร็วรอบ (Tachometer) เครื่องวัดความเร็วรอบแบบเลเซอร์ (Digital Laser Tachometer) สำหรับวัดความเร็วรอบของเพลลาขับ (Propeller Shaft)

4. Spring Dynamometer

5. ชุดวัดแรง Thrust Sensor ประกอบด้วยโหลดเซลล์ (Load Cell) ขนาด 20 kg สำหรับวัดแรงผลักในแนวแกน และ Torque Sensor เซนเซอร์วัดแรงบิดที่ติดตั้งบนเพลลาขับ

6. ชุดโครงสร้างปรับมุม (Adjustable Jig) อุปกรณ์จับยึดหางเรือที่สามารถปรับและล็อกมุมเพลลาขับ (Shaft Angle)

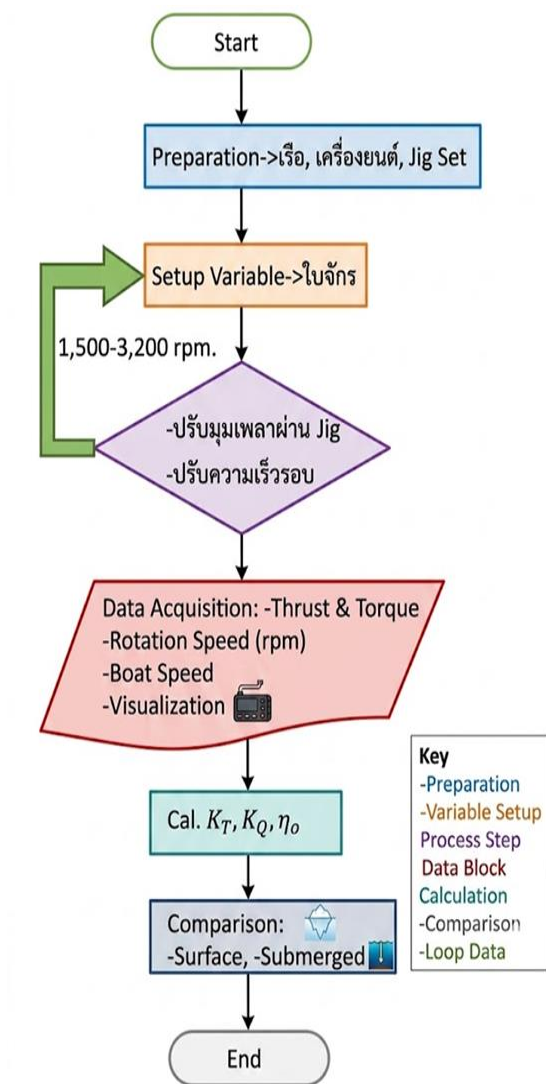
7. ระบบบันทึกภาพ (Visualization) สำหรับบันทึกพฤติกรรมที่เกิดโพรงอากาศบริเวณผิวน้ำ

ตารางที่ 2 อุปกรณ์และข้อมูลทางเทคนิคในการทดลอง

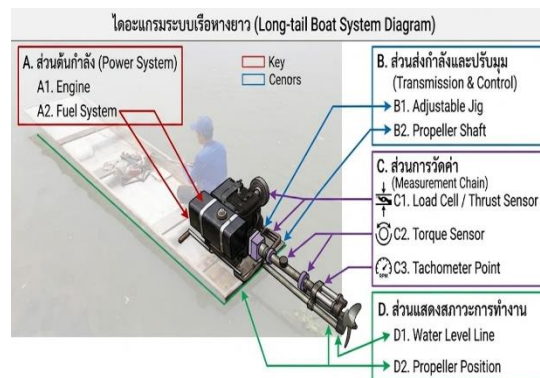
อุปกรณ์	หน้าที่ (Function)	ข้อมูลทางเทคนิค (Specification)
Load Cell (x4)	วัดแรง Thrust ในแนวแกน	Capacity 20 kg
Torque Sensor	วัดแรงบิดที่เพลลาขับ	Integrated on Propeller Shaft
Laser Tachometer	วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์	Digital Display, Precision ± 1 rpm.

Adjustable Jig	ปรับและล็อก มุมเพลลา	Manual Screw/Bolt Locking System
Camera	บันทึกพฤติกรรม Cavitation	High Frame Rate for Visualization

1.3.6 แผนผังการทดลองและการวัดค่า (Experimental Diagram and Measurement)



รูปที่ 10 Flowchart Diagram of the experimental setup showing



รูปที่ 11 Schematic diagram of the experimental setup showing

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องตามหลักสถิติ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการวัดค่าดังนี้

1. การควบคุมสภาวะ ทดสอบในพื้นที่น้ำนิ่ง (Static water) เพื่อลดอิทธิพลของกระแสน้ำและลม

2. การปรับระยะจม (Immersion Depth) กำหนดระยะจมของใบจักร 2 ระดับ คือ สภาวะจมผิวน้ำ (Surface Level) ที่ตำแหน่งแกนเพลลาขนานกับผิวน้ำ และสภาวะจมมิดใบ (Submerged Level) ที่ระยะลึก 30 เซนติเมตร

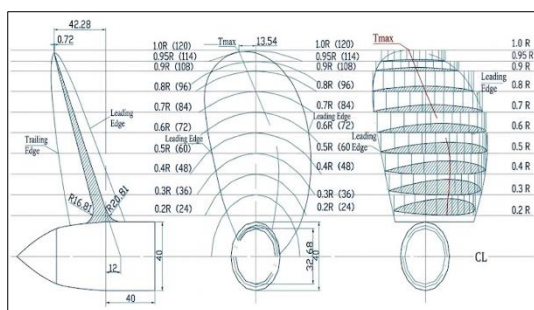
3. การวัดความเร็วและการสิ้นเปลือง ในแต่ละรอบการทดสอบ จะปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ตั้งแต่ 1,500 ถึง 3,200 rpm โดยบันทึกค่าความเร็ว เมื่อสถานะความเร็วคงที่ (Steady State) พร้อมทั้งคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการลดลงของปริมาณน้ำมันในถังวัดมาตรฐาน

4. การวัดพฤติกรรมโพรงอากาศ สังเกตและบันทึกลักษณะการดึงอากาศ (Ventilation) และการสิ้นสะท้อนของหางเรือในขณะที่ใบจักรตัดผ่านผิวน้ำ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับสมรรถนะการผลักดัน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Blade Design

Propeller Base (B_p) จะประกอบไปด้วยเส้น (Contour) ของประสิทธิภาพใบจักร (Propeller Efficiency) หรือ η_o Advance Coefficient หรือ δ และอัตราส่วนพิทช์ (Pitch Ratio) หรือ P/D , [7], [11].



รูปที่ 12 แบบ Drawing Design New Blade



รูปที่ 13 Model ใบจักรแบบใหม่ 3 ปีก มุมโค้ง 22°

การหา δ จากสมการ (1)

$$\delta = \frac{nD}{V_A} \quad (1)$$

การหา ρ_p จากสมการ (2)

$$B_P = \frac{nP_D^{0.5}}{V_A^{2.5}} \quad (2)$$

ความต้านทานความฝืด (Frictional Resistance) คือ ความต้านทานที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างตัวเรือกับน้ำ อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเรือแล่นไปในน้ำที่มีความหนืด (Viscosity) ความต้านทานความฝืด (Frictional Resistance) จะมีค่ามากที่สุดในการต้านทานทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับเรือขณะแล่นไปในน้ำ



รูปที่ 14 Ship Resistance ที่กระทำกับตัวเรือ [6]

ความต้านทานความฝืด (Frictional Resistance) หาได้จากสมการ (3)

$$R_F = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_F \quad (3)$$

ค่า Reynold Number (R_n) หาได้จาก สมการ (4)

$$R_n = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (4)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงขับหรือแรงผลัก (C_p) ค่าสัมประสิทธิ์ใบจักร (C_p) และค่าประสิทธิภาพใบจักร (η_o) หาได้จากสมการ (5)

$$C_p = (P - P_o) / 0.5 \rho n^2 D^2 \text{ for propeller}$$

$$C_T = 2T / \rho A V_a \text{ for Thrust Coefficient,}$$

เมื่อ (A= Propulsion area)

$$\eta_o = T \cdot V_a / 2\pi N Q, \text{ (Propeller Efficiency)} \quad (5)$$

ค่า C_F สามารถหาได้ โดยใช้ ITTA Line (International Towing Tank Conference) จาก สมการ (6)

$$C_F = \frac{0.075}{(\log 10 R_n - 2)^2} \quad (6)$$

กำลังประสิทธิผล (Effective Power, P_E) คือ กำลังที่ต้องเอาชนะความต้านทานของเรือ เพื่อให้เรือแล่นไปได้ตามความเร็วที่ต้องการ เราสามารถหาลำดับประสิทธิผล (Effective Power) ได้จาก สมการ (7)

$$P_E = R_T \times V_S \quad (7)$$

กำลังเพลลา (Shaft Power, P_S) คือ กำลังงานที่เพลลาได้รับหลังจากผ่านเกียร์ (Gear) กำลังเพลลา (Shaft Power) จะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพเกียร์ (Gear Efficiency) และกำลังเครื่องจักรใหญ่ (Brake Power) จาก สมการ (8)

$$P_S = \eta_G P_B \quad (8)$$

กำลังเครื่องจักรใหญ่ (Brake Power, P_B) คือ กำลังงานที่เครื่องจักรใหญ่สามารถผลิตได้ หักลบความสูญเสีย (Loss) ต่างๆ ภายในเครื่องจักรใหญ่แล้ว เราสามารถหาลำดับเครื่องจักรใหญ่ (Brake Power) ได้ โดยการนำ

เครื่องจักรใหญ่ไปทดลองกับไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) หรือคำนวณจาก สมการ (9)

$$P_B = 2\pi Qn \quad (9)$$

กำลังส่ง (Delivered Power, P_D) คือ กำลังงานตรงเพลาท้าย (Tail Shaft) ที่จะส่งเข้าสู่ใบจักรเพื่อทำให้เกิดแรงผลัก (Thrust) ที่ผลักเรือให้แล่นไปได้ตามความเร็วที่ต้องการกำลังส่ง (Delivered Power) จะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการส่ง (Transmission Efficiency) และกำลังเพลา (Shaft Power) จาก สมการ (10)

$$P_D = \eta_T P_S \quad (10)$$

ประสิทธิภาพการส่ง (Transmission Efficiency, η_T) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังส่ง (Delivered Power) กับกำลังเพลา (Shaft Power) ซึ่ง ประสิทธิภาพการส่ง (Transmission Efficiency) จะรวมความสูญเสีย (Loss) ของแบร์ริงต่างๆ ด้วย เป็นไปตาม สมการ(11)

$$\eta_T = \frac{P_D}{P_S} \quad (11)$$

กำลังประสิทธิผล (Effective Power) จะมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การผลักดันน้ำ (Quasi Propulsive Coefficient) และ กำลังส่ง (Delivered Power) ดังนั้นจะได้ สมการ (12)

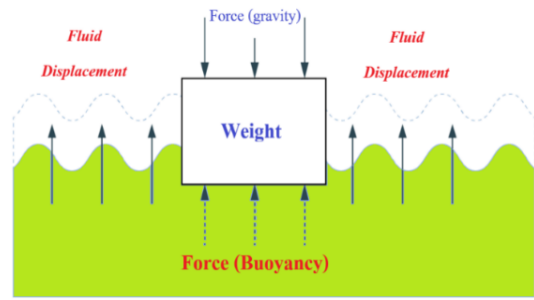
$$P_E = \eta_D P_D \quad (12)$$

ประสิทธิภาพเกียร์ (Gear Efficiency, η_G) คือ อัตราส่วนระหว่าง กำลังเพลา (Shaft Power) กับกำลังเครื่องจักรใหญ่ (Brake Power) จะได้สมการ (13)

$$\eta_G = \frac{P_S}{P_B} \quad (13)$$

สัมประสิทธิ์การผลักดันน้ำ (Quasi-Propulsive Coefficient, η_D) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังประสิทธิผล (Effective Power) กับกำลังส่ง (Delivered Power) จะได้สมการ (14)

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} \quad (14)$$



รูปที่ 15 แรงลอยตัวของวัตถุ

แรงลอยตัว (Buoyancy) คือ แรงในแนวตั้งที่ดันเรือขึ้นในลักษณะ Upward พยางเรือไม่ให้จม ดังรูปที่ (11) ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยเรือ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า แรงลอยตัว (Buoyancy) จะมีขนาดเท่ากับระวางขับน้ำ (Displacement) ของเรือ ซึ่งถ้า $F_B = \nabla$ นั่นคือเรือจะลอยน้ำ แต่ถ้าถ้า $F_B < \nabla$ เรือจะจมน้ำ เป็นไปตามความสัมพันธ์ สมการ (15)

$$F_B = \rho \nabla \quad (15)$$

ใบจักรกำลังหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ω ในสนามการไหลเข้าที่แกนสมมาตร (V_∞) นั้นสามารถพิจารณาได้สำหรับกรณีที่ยากกว่าของปีกที่รับแรงไหลเข้าสม่ำเสมอโดยไม่คำนึงถึงพจน์ความเร็วเชิงมุมใน (x_p, y_p, z_p) ระบบพิกัดที่หมุนไปกับใบจักร ค่าเวกเตอร์ความเร็วรวม V สามารถเขียนเป็นผลรวมของการไหลสัมพัทธ์ V_{rel} และความเร็วศักย์ q_{ind} เนื่องจากอิทธิพลความเร็วของใบจักรบนสนามความเร็ว เป็นไปตามสมการ (16)

$$V = V_{rel} + q_{ind} \quad (16)$$

โดยที่ความเร็วสัมพัทธ์ V_{rel} ในระบบอ้างอิงใบจักรสามารถเขียนได้ดังสมการ (17)

$$V_{rel} = V_\infty - \omega \times r \quad (17)$$

ภายใต้สมมติฐาน ที่ว่าของไหลไม่มีความหนืดและไม่สามารถบีบอัดได้ สามารถเขียนได้ในรูปของฟังก์ชันสเกลาร์จากสมการ (18)

$$q_{ind} = \nabla \phi, \quad \nabla^2 \phi = 0 \quad (18)$$

ที่ขอบท้ายใบจักร (*Blade Tailing Edge*) [7] ภายใต้งานไขว่คว้าการไหลต้องออกด้วยความเร็วจำกัด หรือแรงดันที่กระโศกที่ขอบท้ายใบจักร ต้องเป็นศูนย์ในปัญหาสถานะคงที่ (Steady State) เงื่อนไข Kuiper G. [7] ช่วยให้ง่ายกว่าค่าไดโพล (Dipole Intensities, Φ) ได้โดยที่มีค่าคงที่ตลอดแนวกระแสน้ำแต่ละเส้นด้วยการใช้เงื่อนไข “เชิงเส้น” เป็นไปได้สมการ (19)

$$\Delta\Phi_{T.E.} = \Phi_{T.E.}^U - \Phi_{T.E.}^L + V_{rel} \cdot r_{T.E.} \quad (19)$$

2.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงอุทกพลศาสตร์

ในการวิเคราะห์สมรรถนะเชิงอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Performance Analysis) ของใบจักรที่ออกแบบใหม่ (แบบ 3 ใบ, 12 นิ้ว, Rake angle 22 องศา) โดยพิจารณาผ่านตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless Coefficients) เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดสอบอุโมงค์น้ำ

1. สัมประสิทธิ์สมรรถนะของใบจักร (Propeller Performance Coefficients)

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของใบจักรที่ออกแบบขึ้นใหม่กับใบจักรทั่วไป นั้นการวิเคราะห์จะพิจารณาผ่านตัวแปรหลัก 3 ตัว คือ สัมประสิทธิ์แรงขับ (K_T), สัมประสิทธิ์แรงบิด (K_Q) และตัวแปรความเร็วก้าวหน้า (J) ตามสมการ (20 - 22)

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (20)$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (21)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (22)$$

โดยที่ J คือสัมประสิทธิ์ก้าวหน้า (*Advance Coefficient*), V_a คือความเร็วก้าวหน้าของน้ำ (m/s), n คือความเร็วรอบ (rpm) และ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางใบจักร (m) จากผลการทดสอบที่ความเร็ว 6 น็อต พบว่าใบจักรที่ออกแบบใหม่มีค่า K_T ที่สูงกว่าใบจักรทั่วไปในย่านความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญสำหรับการผลักดันน้ำ (Water

Propulsion) ที่ต้องการแรงผลัก (Thrust) สูงในขณะที่อัตราการก้าวหน้าต่ำ

2. ผลของมุมโค้งเอน 22 องศา ต่อประสิทธิภาพการไหล (Influence of 22-Degree Rake Angle)

พบว่า (Rake Angle) ที่ 22 องศา ซึ่งสูงกว่าใบจักรเรือหางยาวทั่วไป การเพิ่มมุมโค้งเอน (rake) ส่งผลโดยตรงต่อพื้นที่ผิวกระทำของใบจักร (Effective Blade Surface Area) และการกระจายความดัน (Pressure Distribution) นั่นคือ

- การเพิ่มโมเมนตัมแนวแกน (Axial Momentum)

มุม Rake 22 องศา ช่วยให้ทิศทางการไหลของน้ำที่ผ่านใบจักรให้มีความเป็นเส้นตรง (Laminar-like flow) มากขึ้น ลดการสูญเสียพลังงานจากการหมุนวน (Rotational Losses) ที่ปลายใบจักร (Tip Vortex)

- ลดการเกิดโพรงอากาศ (Aeration Mitigation) ใน

สภาวะการผลักดันน้ำท่วมที่มีความขุ่นและเศษวัสดุสูง มุมโค้งเอนที่เหมาะสมจะช่วยลดค่าของความดันต่ำที่หน้าใบจักร ส่งผลให้ลดการเกิดโพรงอากาศลง ทำให้เครื่องยนต์ 16 แรงม้าสามารถส่งถ่ายกำลัง (Power Transmission) ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยไม่เกิดอาการ "ใบจักรฟรี" (Slip)

- ประสิทธิภาพในน้ำเปิด (Open Water Efficiency)

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในน้ำเปิด (Open Water Efficiency, η_o) ตามสมการที่ (23)

$$\eta_o = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q} \quad (23)$$

พบว่าในสภาวะการทำงานที่ระดับผิวน้ำ ใบจักรที่ออกแบบใหม่มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด (η_{max}) เพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ระบุว่าสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงได้ถึง 16% เนื่องจากเครื่องยนต์ไม่ต้องใช้รอบสูงเกินความจำเป็นเพื่อสร้างแรงขับที่เท่าเดิม (Specific Fuel Consumption ลดลง)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล (Results and Discussion)

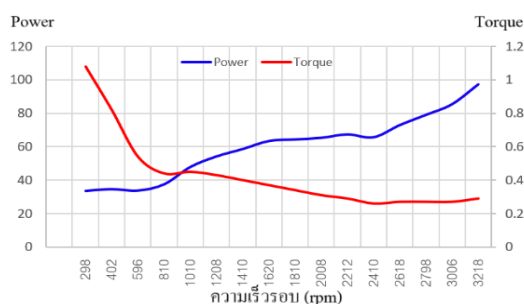
3.1 ผลการทดลอง (Experiments Result)

จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงผลัก และแรงบิดที่แปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของไหลคือน้ำ ซึ่งบ่งชี้ถึงสมรรถนะของใบจักรที่ออกแบบใหม่นี้ การเปรียบเทียบความเร็วของการหมุนที่ค่าต่างๆ ความดันใช้งานที่เกิดขึ้นได้แสดงให้เห็นแล้วในตารางที่ (3) และรูปที่ (16)

ตารางที่ 3 แสดงผลของความเร็วกระแสน้ำที่ใบจักรทำได้ ณ ความเร็วรอบ

ความเร็วรอบ (rpm)	Stream water of velocity (ความเร็วกระแสน้ำ)				Torque (Nm)	Power
	Knots	km/hr	m/min	m/s		
298	1.9 3	3.57	59.50	0.9 9	1.0 8	33.62
402	1.9 9	3.68	61.33	1.0 2	0.8 2	34.66
596	1.9 4	3.59	59.83	1.0 0	0.5 4	33.81
810	2.1 5	3.99	66.50	1.1 1	0.4 4	37.58
1010	2.7 5	5.09	84.83	1.4 1	0.4 5	47.94
1208	3.1 1	5.76	96.00	1.6 0	0.4 3	54.25
1410	3.3 6	6.23	103.8 3	1.7 3	0.4 0	58.67
1620	3.6 4	6.74	112.3 3	1.8 7	0.3 7	63.47
1810	3.7 0	6.84	114.0 0	1.9 0	0.3 4	64.42
2008	3.7 5	6.94	115.6 7	1.9 3	0.3 1	65.36
2212	3.8 7	7.16	119.3 3	1.9 9	0.2 9	67.43
2410	3.7 7	6.98	116.3 3	1.9 4	0.2 6	65.73

ความเร็วรอบ (rpm)	Stream water of velocity (ความเร็วกระแสน้ำ)				Torque (Nm)	Power
	Knots	km/hr	m/min	m/s		
2618	4.1 8	7.75	129.1 7	2.1 5	0.2 7	72.99
2798	4.5 4	8.40	140.0 0	2.3 3	0.2 7	79.11
3006	4.9 0	9.08	151.3 3	2.5 2	0.2 7	85.51
3218	5.5 8	10.3 4	172.3 3	2.8 7	0.2 9	97.38



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ของกำลังขับ (Power) และแรงบิด (Torque) ที่ใบจักรทำ

อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์เรือที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นเครื่องยนต์เรือขนาดเล็ก ประเภทเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาด 16 แรงม้าที่ 4200 รอบต่อนาที ปริมาตรกระบอกสูบ ขนาด 420 – 425 ซี.ซี. ความจุน้ำมันเชื้อเพลิง 6.5 ลิตร ความจุน้ำมันเครื่อง 1.1 ลิตร ระบบวาล์ว V-OHV (วาล์วเหนือลูกสูบ) ดังแสดงในรูปที่ (17) และเครื่องวัดความเร็วรอบที่ระยะรอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ (18)



รูปที่ 17 แสดงเครื่องยนต์ทดสอบ



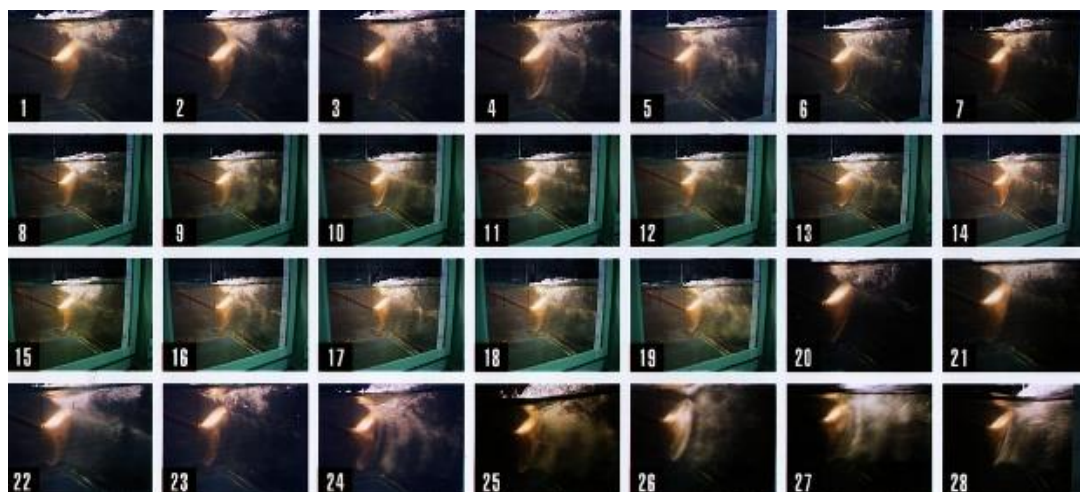
รูปที่ 18 แสดงรอบการหมุนของเพลาลำโพงที่ 1982 rpm จากการทดสอบสมรรถนะการผลักดันน้ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิด (Open Water Tunnel) พบว่าระดับความลึกในการจุ่มใบจักรมีอิทธิพลอย่างนัยสำคัญต่อความเร็วการไหลของทกพลศาสตร์ จากการวิเคราะห์ในรูปที่ (19) เมื่อกำหนดสภาวะการทำงานที่ระดับจมผิวน้ำ (Surface Level) โดยมีมุมเพลาลำโพงประมาณ 28 องศา ใบจักรสามารถสร้างความเร็วการไหลเฉลี่ยได้สูงสุดถึง 6 นี้อต (11.112 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

ในทางตรงกันข้าม เมื่อเพิ่มระยะจมของใบจักรเป็น 30 เซนติเมตร (Submerged Level) ประสิทธิภาพในการสร้างความเร็วการไหลกลับมีแนวโน้มลดลง โดยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงถึง 3,200 รอบต่อนาที (rpm) สามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้เพียง 5.6 นี้อต (10.37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ดังแสดงในรูปที่ (20, 21) ผลการ

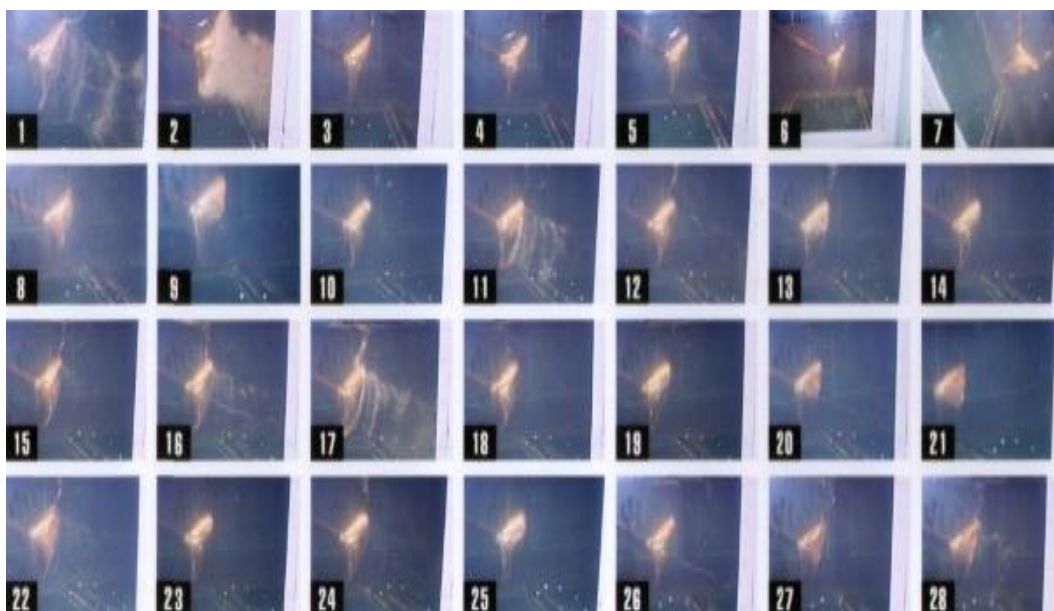
ทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสภาวะการทำงานแบบกึ่งจมกึ่งลอย (Surface Piercing Condition) ของใบจักรที่ออกแบบใหม่ให้สมรรถนะเชิงอุทกพลศาสตร์ที่เหนือกว่าสภาวะจมมิดใบอย่างชัดเจน

ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการดึงอากาศเข้าสู่ใบจักร (Ventilation) โดยในสภาวะจมผิวน้ำ อากาศจะถูกดึงลงไปปกคลุมบริเวณหลังใบจักร (Suction Side) ทำหน้าที่เป็นชั้นกันชน (Buffer layer) ที่ช่วยควบคุมการลดลงของความดันไม่ให้ต่ำกว่าจุดวิกฤต ส่งผลให้สามารถชะลอการเกิดโพรงอากาศรุนแรง (Severe Cavitation) และป้องกันอาการสูญเสียแรงขับเคลื่อน (Thrust Breakdown) แม้ทำงานที่ความเร็วรอบสูง

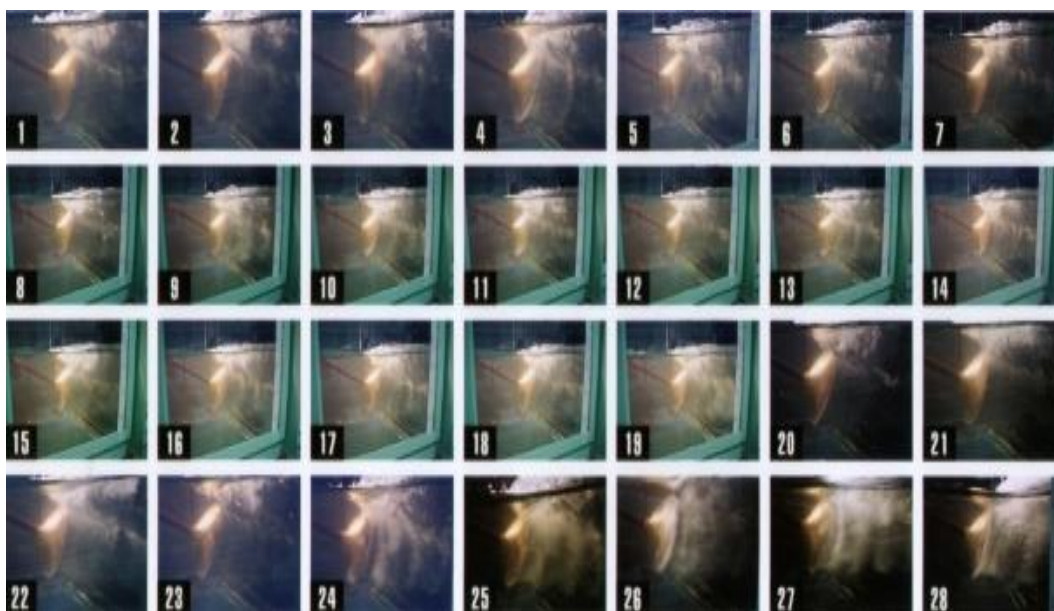
นอกจากนี้ การไหลแบบผสมอากาศ (Aerated Flow) ยังส่งผลดีในการลดแรงต้านจากความหนืดของน้ำ (Viscous Drag) ที่กระทำต่อผิวใบจักร ส่งผลให้เครื่องยนต์ขนาด 16 แรงม้า สามารถถ่ายโอนพลังงานเพื่อสร้างโมเมนตัมการไหลได้สูงกว่าสภาวะจมมิดใบ ซึ่งในสภาวะหลังนี้ใบจักรจะถูกดันด้วยมวลน้ำที่มีความหนาแน่นสูงกว่าและขาดกลไกการลดแรงเสียดทานด้วยชั้นอากาศ (Air-film lubrication) ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง



รูปที่ 19 สมรรถนะการผลักดันน้ำที่ระดับความลึกจมผิวน้ำ (Surface Level) ให้ความเร็วเฉลี่ย 6 นี้อต (11.112 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)



รูปที่ 20 ลักษณะกระแสน้ำที่ระยะจมน้ำ 30 เซนติเมตร ณ ความเร็วรอบ 1,982 รอบต่อนาที (ประมาณ 2000 รอบ/นาที)



รูปที่ 21 ลักษณะกระแสน้ำที่ระยะจมน้ำ 30 เซนติเมตร ณ ความเร็วรอบ 3,200 รอบต่อนาที

จากผลการทดลองพบว่าที่สภาวะการจุ่มใบจักร ณ ระดับผิวน้ำ (Surface Level) ให้ความเร็วการไหลสูงกว่าสภาวะจมน้ำ (Submerged Level) แม้จะใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับหลักเหตุผลทางวิศวกรรมดังนี้

1. การลดแรงต้านเชิงกลและแรงต้านปรสิติก (Reduction of Mechanical and Parasitic Drag) คือเมื่อติดตั้งใบจักรในระดับจมน้ำ ส่วนประกอบของชุดเพลาลำ (Propeller Shaft) และหางเสือจะสัมผัสกับน้ำน้อยลง ส่งผลให้แรงต้านปรสิติก (Parasitic Drag) ที่เกิดจากการ

ปะทะของน้ำกับโครงสร้างที่ไม่ใช่ส่วนสร้างแรงขับเคลื่อน อย่างมีนัยสำคัญ พลังงานจากเครื่องยนตจึงถูกส่งถ่ายไปยังใบจักรเพื่อสร้างแรงขับ (Thrust) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าสภาวะจมมิดใบที่หุดเพลลาทั้งหมดต่อต้านกระแสน้ำ

2. คุณลักษณะเฉพาะของมุมโค้งเอน 22 องศา (Significance of 22-Degree Rake Angle) เป็น การออกแบบใบจักรให้มีมุมโค้งเอน (Rake Angle) สูงถึง 22 องศา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวกระทำน้ำในลักษณะกึ่งจมกึ่งลอย (Surface Piercing) ในสภาวะจมผิว น้ำ มุมโค้งเอนที่สูงจะช่วย “รีดน้ำ” และสร้างลิ้นความดัน (Pressure Wedge) ที่มีความเข้มข้นสูงบริเวณหน้าใบจักร ช่วยลดการเกิดอากาศย้อนกลับ (Ventilation) เข้าไปในระบบ ทำให้ใบจักรสามารถสร้างแรงผลักดันเชิงปริมาตรได้สูงกว่าใบจักรทั่วไปที่มีมุมโค้งเอนต่ำ

3. การถ่ายเทโมเมนตัมและทฤษฎีแรงขับ (Momentum Transfer and Propeller Theory) ในสภาวะจมผิวน้ำ กระแสน้ำที่ถูกเร่งผ่านใบจักรจะมีลักษณะเป็นลำน้ำความเร็วสูง (High-velocity jet) ที่ไม่มีแรงดันต้านจากมวลน้ำด้านบน (Hydrostatic Pressure) ทำให้การขยายตัวของลำน้ำหลังใบจักร (Slipstream expansion) เป็นไปได้อย่างอิสระมากกว่า ส่งผลให้การเปลี่ยนโมเมนตัมของของไหล มีค่าสูงขึ้นตามกฎข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ความเร็วเฉลี่ยพุ่งสูงถึง 6 นีโอด ในขณะที่ประหยัดเชื้อเพลิงได้มากขึ้นเนื่องจากลดภาระโหด (Torque Load) ของเครื่องยนต์จากการต้านน้ำของใบจักรส่วนที่ไม่จำเป็น

3.2 การอภิปรายผลเชิงเปรียบเทียบ (Validation and Comparison with Previous Studies)

1. การเปรียบเทียบเชิงอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Comparison)

จากผลการทดลองพบว่าสภาวะกึ่งจมกึ่งลอย (Surface Piercing) ให้ประสิทธิภาพดีกว่าสภาวะจมมิดใบ กล่าวคือปรากฏการณ์ที่ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในสภาวะกึ่งจมกึ่ง

ลอย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Olofsson [29] และ Ferrando et al. [30] ซึ่งระบุว่าใบจักรทำงานในสภาวะ Surface Piercing จะมีแรงต้านจากความหนืด (Viscous Drag) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากพื้นที่สัมผัสน้ำของใบจักรลดลงครึ่งหนึ่งในแต่ละรอบการหมุน นอกจากนี้ การเกิดชั้นอากาศ (Air-film lubrication) บนผิวใบจักรยังช่วยลดแรงเสียดทานผิว (Skin friction) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Young and Kinnas [31] ที่อธิบายว่าความหนาแน่นของส่วนผสมอากาศและน้ำ (Aerated flow) ที่ต่ำกว่าน้ำบริสุทธิ์ ช่วยให้ใบจักรสามารถทำความเร็วรอบสูงได้โดยไม่เกิด Thrust Breakdown จากแรงต้านมวลน้ำที่มากเกินไป

2. การตรวจสอบความถูกต้องด้วยสมการทางทฤษฎี (Theoretical Validation)

เมื่อพิจารณาผ่านสมการของ Advance Ratio ($J = \frac{V_a}{nD}$) พบว่าที่ความเร็วรอบสูง (3,200 rpm) ค่า J ในสภาวะจมมิดใบมีค่าต่ำกว่าสภาวะกึ่งจมกึ่งลอย ส่งผลให้ Slip ratio สูงขึ้นและสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนและการปั่นป่วนของน้ำ (Turbulence) มากกว่า ซึ่งยืนยันได้ด้วยสมการประสิทธิภาพของใบจักร ($\eta_o = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$) โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในสภาวะกึ่งจมกึ่งลอย ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด (K_Q) ลดลงในสัดส่วนที่มากกว่าการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงขับ (K_T) อันเนื่องมาจากการลดแรงต้านความหนืด

4. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาและทดสอบสมรรถนะเชิงอุทกพลศาสตร์ของใบจักรเรือชนิดจมผิว (Surface Piercing Propeller: SPP) สำหรับระบบผลักดันน้ำในการกักเก็บเรอูทกภัย นั้นสามารถวิเคราะห์ สังเคราะห์ และสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

4.1 พฤติกรรมของโพรงอากาศและสมรรถนะเชิงอุทกพลศาสตร์

1. พฤติกรรมโพรงอากาศ ผลการวิจัยพบว่าในสภาวะจมผิวน้ำ (Surface Level) เกิดปรากฏการณ์การดึงอากาศเข้าสู่ใบจักร (Ventilation) ซึ่งอากาศจะเข้าไปปกคลุมบริเวณหลังใบจักร (Suction Side) พฤติกรรมนี้ช่วยเปลี่ยนรูปแบบจากโพรงอากาศแบบไอระเหย (Vapor Cavitation) ที่มีความรุนแรงและกัดกร่อนผิวใบจักร ให้กลายเป็นโพรงอากาศแบบผสมอากาศ (Ventilated Cavitation) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่า

2. การควบคุมความดัน ชั้นอากาศนี้ทำหน้าที่เป็น Buffer Layer ที่ช่วยควบคุมความดันบนผิวใบจักรไม่ให้ต่ำลงจนถึงจุดวิกฤต ส่งผลให้สามารถชะลอการเกิดโพรงอากาศรุนแรง (Severe Cavitation) และป้องกันอาการสูญเสียแรงขับเทียบปล้น (Thrust Breakdown) แม้ทำงานที่ความเร็วรอบสูงถึง 3,200 rpm

3. ผลสัมฤทธิ์ ใบจักรชนิด 3 ใบ ขนาด 12 นิ้ว มุม Rake 22 องศา ให้ความเร็วการไหลเฉลี่ยสูงสุด 6 น็อต ณ มุมเพลลา 28 องศา ซึ่งสูงกว่าสภาวะจมผิวน้ำ (5.6 น็อต) อย่างมีนัยสำคัญ

4.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและโหลดทางกล

การที่ใบจักรทำงานในสภาวะกึ่งจมกึ่งลอยช่วยลดแรงต้านจากความหนืด (Viscous Drag) เนื่องจากความหนาแน่นของส่วนผสมอากาศและน้ำต่ำกว่าน้ำบริสุทธิ์ พฤติกรรมนี้ส่งผลโดยตรงต่อการลดภาระโหลด (Torque Load) ที่ส่งถ่ายจากเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ขนาด 16 แรงม้า สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและลดอัตราการใช้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับใบจักรมาตรฐาน

4.3 การยืนยันผลด้วยหลักการทางทฤษฎี

ผลการวิจัยยืนยันว่าการออกแบบใบจักรให้ทำงานภายใต้กลไก Air-film Lubrication ช่วยให้การส่งถ่ายโมเมนตัมของของไหลเป็นไปได้อย่างอิสระ ตามทฤษฎีลำน้ำความเร็วสูง (High-velocity Jet) ซึ่งพฤติกรรมของ

โพรงอากาศแบบระบายอากาศนี้ (Ventilated Flow) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ใบจักรที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะเหนือกว่าสภาวะการทำงานแบบปกติ

4.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ควรมีการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับ โครงสร้างเชิงมวลของโพรงอากาศ (Cavitation Cloud Structure) โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ร่วมกับการกล้องความเร็วสูง (High-speed Camera) เพื่อวิเคราะห์การยุบตัวของโพรงอากาศในน้ำขุ่นที่มีตะกอน ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาวัสดุและรูปทรงใบจักรให้มีความทนทานต่อการกัดเซาะ (Erosion) ในระยะยาวและมีสมรรถนะสูงสุดในสภาวะอุทกภัยจริงอย่างยิ่งต่อไป.

พินัยศัพท์

F_B = แรงลอยตัว (Buoyancy)

V = ปริมาตรระวางขับน้ำ (Volume Displacement)

Re = Reynold Number

P_D = เส้นผ่านศูนย์กลางใบจักร (Diameter), (ft)

Q = แรงบิด (Torque)

P_B = กำลังเครื่องจักรใหญ่ (Brake Power)

P_S = กำลังเพลลา (Shaft Power)

P_E = กำลังประสิทธิภาพ (Effective Power)

P_D = กำลังส่ง (Delivered Power)

V_A = ความเร็วแอดวานซ์ (Advance Speed)

V_S = ความเร็วของเรือ (Ship Speed)

R_T = ความต้านทานเรือ

R_F = ความต้านทานความฝืด (Frictional Resistance)

μ = ความหนืดของน้ำ (Viscosity)

n = จำนวนรอบการหมุนของเครื่องจักรใหญ่, ใบจักร หน่วยเป็น rpm

η_G = ประสิทธิภาพเกียร์ (Gear Efficiency)

η_T = ประสิทธิภาพการส่ง (Transmission Efficiency)

S = พื้นที่ผิวเปียก (Wetted Surface Area)

η_D = สัมประสิทธิ์การผลักดันน้ำ (Quasi-Propulsive Coefficient)

C_F = สัมประสิทธิ์ความต้านทานความฝืด (Frictional Resistance Coefficient)

ω = ความเร็วเชิงมุมของใบจักร (Propeller angular velocity)

$\vec{U}_w$ = ความเร็วการไหลเข้า (ในระบบคงที่ของเรือ),
[Effective inflow velocity (in the ship fixed system)]

$\vec{U}_{in}$ = ความเร็วการไหลเข้า (ในระบบใบจักรคงที่) [Local inflow velocity (in the propeller fixed system)]

$\vec{q}_t$ = ความเร็วรวม, (Total velocity)

$\vec{V}_w$ = Total velocity on wake surface

$C_p = (P - P_o)/0.5\rho U_\infty^2$ Pressure coefficient for otherwise

$C_p = (P - P_o)/0.5\rho n^2 D^2$ Pressure coefficient for propeller

$C_T = 2T/\rho A V_a$ for Thrust Coefficient, (A= Propulsion area) สัมประสิทธิ์แรงขับ

$\eta_o = T \cdot V_a / 2\pi N Q$, ประสิทธิภาพของใบจักร (Propeller Efficiency)

$\eta_t = R_t \cdot V_s / 2\pi N Q$, Propulsive Efficiency, (R_t = Total Ship resistance)

$\vec{V}_{Tip}$ = Total velocity at the center of the tip vortex core

K_Q = ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque coefficient),
 $K_Q = Q/\rho n^2 D^5$

K_T = ค่าสัมประสิทธิ์แรงขับ (Thrust coefficient),
 $K_T = T/\rho n^2 D^4$

n = ความถี่การหมุนของใบจักร (รอบ/วินาที), (Propeller rotational frequency, rev/sec)

เอกสารอ้างอิง

- [1] National Economic and Social Development Council (NESDC) . “ Official Website. ” nesdc. go. th. <https://www.nesdc.go.th/> (accessed Feb. 24, 2026).
- [2] BBC News. “World News and Current Events.” bbc.com. <https://www.bbc.com> (accessed Feb. 24, 2026).
- [3] Thairath Online. “Daily Newspaper and News.” thairath.co.th. <https://www.thairath.co.th/newspaper> (accessed Feb. 24, 2026).
- [4] Office of the National Water Resources (ONWR). “ Water Management Systems. ” onwr. go. th. <https://www.onwr.go.th/> (accessed Feb. 24, 2026).
- [5] Royal Thai Navy. “Official Website of the Royal Thai Navy. ” navy. mi. th. <https://www.navy.mi.th/> (accessed Feb. 24, 2026).
- [6] P-Cruise. “Working on Cruise Ships.” p-cruise.com. <https://p-cruise.com/article/cruise/working-on-cruise/> (accessed Feb. 24, 2026).
- [7] G. Kuiper, *The Wageningen Propeller Series*. Wageningen, Netherlands: MARIN Publication 92-001, 1992.
- [8] H. W. Lerbs, “Moderately loaded propellers with a finite number of blades and an arbitrary distribution of circulation,” *SNAME Trans.*, vol. 60, pp. 73–117, 1952.
- [9] T. Brockett, “Minimum pressure envelopes for modified NACA- 66 sections with NACA a=0.8 camber and Buships type I and type II sections,” David Taylor Model Basin, Washington, D.C., Rep. 1780, 1966.
- [10] J. R. Nielsen, “Program documentation: MAN B&W,” Internal Document, 1992.

- [11] W. B. Morgan, V. Silovic, and S. B. Denny, "Propeller lifting- surface corrections," *SNAME Trans.*, vol. 76, pp. 307–347, 1968.
- [12] R. A. Cumming, W. B. Morgan, and R. J. Boswell, "Highly skewed propellers," *SNAME Trans.*, vol. 80, pp. 98–152, 1972.
- [13] D. S. Greeley and J. E. Kerwin, "Numerical methods for propeller design and analysis in steady flow," *SNAME Trans.*, vol. 90, pp. 415–453, 1982.
- [14] A. H. Techet, "Hydrodynamics Reading," Massachusetts Institute of Technology (MIT), Version 3.0, pp. 1–19, 2005.
- [15] S. Bal and S. A. Kinnas, "A BEM for the prediction of free surface effects on cavitating hydrofoils," *Comput. Mech.*, vol. 28, no. 3-4, pp. 260–274, 2002. doi: 10.1007/s00466-001-0281-y
- [16] Y. L. Young and S. A. Kinnas, "A BEM for the prediction of unsteady midchord face and/or back propeller cavitation," *J. Fluids Eng.*, vol. 123, no. 2, pp. 311–320, 2001. doi: 10.1115/1.1362300
- [17] G. Vaz and J. Bosschers, "Modeling three dimensional sheet cavitation on marine propellers using a boundary element method," in *Proc. 6th Int. Symp. Cavitation (CAV2006)*, Wageningen, Netherlands, 2006.
- [18] B. Ji, X. W. Luo, R. E. A. Arndt, and Y. L. Wu, "Numerical investigation of unsteady cavitating turbulent flow around a full-scale marine propeller," in *Proc. 9th Int. Conf. Hydrodyn. (ICHD)*, Shanghai, China, 2010.
- [19] N. H. Mostafa and M. A. Boraey, "Numerical and experimental investigation of cavitation in axial pumps," in *Proc. 8th Int. Water Technol. Conf. (IWTC11)*, Sharm El-Sheikh, Egypt, 2007, pp. 553–564.
- [20] R. Arazgaldi, A. Hajilouy, and B. Farhanieh, "Experimental and numerical investigation of marine propeller cavitation," *Scientia Iranica*, vol. 16, no. 6, pp. 525–533, 2009.
- [21] A. Konno, T. Wakaba, N. Yamaguchi, and Y. Toda, "On the mechanism of the bursting phenomena of propeller tip vortex cavitation," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 6, pp. 181–192, 2002. doi: 10.1007/s007730200005
- [22] J. Noosomton and W. Gunnuang, "Case Study on CFD Simulation and Experiment of New Developed Propeller for Trailing Thai Boat," in *Proc. 5th Int. Symp. Mar. Propuls. (SMP'17)*, Helsinki, Finland, Jun. 2017.
- [23] J. Noosomton, "Case Study: Experimental of New Propeller Design 2 Blades Type and Observation Cavitation of Tailing Thai Boat," in *Proc. Seoul Int. Conf. Appl. Sci. Eng. (SICASE2015)*, Seoul, South Korea, Jun. 2015.
- [24] J. Noosomton and J. Charoensuk, "Case Study: Method New Design of Propeller 3 Blades Type on 75 Developed Area and Testing cavitation of Tailing Thai Boat," in *Proc. Int. Conf. Eng. Technol. Appl. Sci. (ICETA-2015)*, Taipei, Taiwan, Apr. 2015.
- [25] J. Noosomton and J. Charoensuk, "Case Study New design 3 Blades Type on 35 Developed Area and Testing cavitation of Tailing Thai Boat," in *Proc. 3rd Int. Conf. Ind. Appl. Eng. (ICIAE2015)*, Kitakyushu, Japan, Mar. 2015. doi: 10.12792/iciae2015.042

- [26] J. Noosomton and J. Charoensuk, “The New Propeller design 3 Blades Type on 18° Skew Angle and Testing cavitation of Tailing Thai Boat,” in *Proc. Annu. Conf. Eng. Inf. Technol. (ACEAIT)*, Osaka, Japan, Mar. 2015.
- [27] J. Noosomton and J. Charoensuk, “Performance Design and Testing of Propeller for Shallow-Fishery and Tailing Thai Boat: 2-blade type Part (2): A method for optimum cavitation of ship propeller [AMM-1037],” in *Proc. 4th TSME Int. Conf. Mech. Eng. (TSME-ICoME)*, Pattaya, Thailand, Oct. 2013.
- [28] J. Noosomton and J. Charoensuk, “Propeller Design and Finding of Match-Point for Shallow-Fishery and Tailing Thai Boat: 3-Blade Type [AMM-1036],” in *Proc. 4th TSME Int. Conf. Mech. Eng. (TSME-ICoME)*, Pattaya, Thailand, Oct. 2013.
- [29] N. Olofsson, “Force and flow characteristics of a partially submerged propeller,” Ph.D. dissertation, Dept. Naval Architecture and Ocean Engineering, Chalmers Univ. Technol., Gothenburg, Sweden, 1996.
- [30] M. Ferrando, S. Gaggero, and C. Podenzana-Bonvino, “Surface piercing propellers: A numerical and experimental study on a series of models,” in *Proc. 24th ONR Symp. Naval Hydrodynamics*, Fukuoka, Japan, 2002, pp. 1–15.
- [31] Y. L. Young and W. L. Kinnas, “Numerical modeling of supercavitating and surface-piercing propellers,” *J. Ship Res.*, vol. 47, no. 4, pp. 302–313, Dec. 2003.

ประวัติผู้ประพันธ์ :



จารุพันธุ์ หนูสมตน
การศึกษา: วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
งานวิจัยที่สนใจ: กลศาสตร์ของไหล วิศวกรรมใบจักร วิศวกรรมงานระบบ



กนกอร รจนากิจ
การศึกษา: วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
งานวิจัยที่สนใจ: กลศาสตร์ของไหล Oil-lubricant



อนุสรณ์ ผ่องประภา
การศึกษา: วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
งานวิจัยที่สนใจ: การคำนวณเชิงตัวเลข กลศาสตร์ของไหล กลศาสตร์ของแข็ง



สนธยา จันเดช
การศึกษา: MBA. การจัดการการบิน
งานวิจัยที่สนใจ: Aerodynamic Fluid-Flow Airplane-Mechanic



สมบูรณ์ อัสวรจันนท์
การศึกษา: นักบินพาณิชย์ตรี สถาบันการบินพลเรือน
งานวิจัยที่สนใจ: Aerodynamic Fluid-Flow Airplane-Mechanic