เทคโนโลยีการประหยัดพลังงานสำหรับเรือ

Saving Energy Technology for Boat

ยอดชาย เตียเปี้น

วิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือ วิทยาลัยพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

บทคัดย่อ

สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น ส่งผลกระทบโดยตรงต่อชาวเรือประมงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ พลังงานที่ใช้ในเรือกว่า 76% ถูกใช้ในส่วนระบบขับเคลื่อน การนำหลักทางด้านชลพลศาสตร์มาช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการไหลทั้งทางด้านการลดแรงต้านทานของเรือ และการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อน สามารถนำมาปรับใช้กับเรือประมงเพื่อการประหยัดพลังงาน เทคโนโลยีทางชลพลศาสตร์จึงเป็นแนวทางช่วยเหลือชาวประมงไทยอย่างยั่งยืน สำหรับการลดต้นทุนของการทำประมงในยุคนี้

คำสำคัญ : การประหยัดพลังงาน, ชลพลศาสตร์, เรือประมง

Abstract

Nowadays the increase of fuel prices impacts directly the fishing industries. About 76% of ship energy is spent in propulsion system. The knowledge in hydrodynamics can be used to improve resistance reduction and propulsion efficiency augmentation. This knowledge can be used to prevent fishing boats from unnecessary fuel consumption. The use of hydrodynamic technology is unquestionably a sustainable solution for Thai fishing industries.

Keywords : Saving Energy, Hydrodynamics, Fishing Boat

1. บทนำ

สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อเรือประมงโดยตรง รัฐบาลพยายามเข้ามาช่วยเหลือบรรเทา เพื่อให้ชาวประมงสามารถประกอบอาชีพได้ แต่อย่างไรก็ตามการหาวิธีการช่วยเหลือชาวประมงอย่างยั่งยืนน่าจะเป็นแนวทางที่ดีที่สุด

พลังงานที่ใช้ในเรือสามารถแบ่งประเภทการใช้งานได้ 3 ส่วนหลักๆคือ พลังงานสำหรับระบบขับเคลื่อน 76% พลังงานสำหรับระบบทุ่นกำลัง 14% และพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้า 10% [1] พลังงานหลักที่ใช้ในเรือจึงเป็นในส่วนของระบบขับเคลื่อน การศึกษาและวิจัยจึงมุ่งเน้นการพัฒนาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในส่วนระบบขับเคลื่อน โดยอาศัยหลักทางด้านชลพลศาสตร์ (Hydrodynamics) ดังนั้นบทความนี้จึงได้รวบรวมแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในส่วนระบบขับเคลื่อน ประกอบด้วย การลดแรงต้านทานของตัวเรือ และการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการประหยัดพลังงานในเรือประมงไทย

2. การลดแรงต้านทานเรือ

เรือส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านน้ำได้โดยมีแรงภายนอกมากระทำกับตัวเรือให้น้อยที่สุด แรงภายนอกที่กระทำกับเรือนี้ก็คือ แรงต้านทานเรือนั้นเอง โดยแรงต้านทานเรือจะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 3 ส่วน [2] คือ

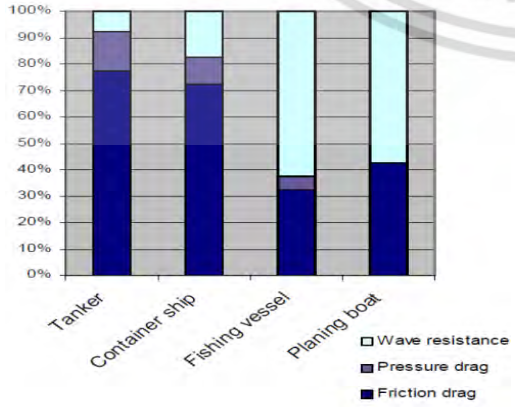
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แรงต้านจากผิวเรือคือ แรงที่เกิดจากความหนืดของน้ำในเทอมของแรงเฉือน ขณะที่เรือเคลื่อนที่จะมีอนุภาคน้ำที่ยึดเกาะติดกับผิวเรือเคลื่อนตัวตามไปกับลำตัวเรือ ค่าความขรุขระของผิวเรือจะมีอิทธิพลหลักต่อค่าแรงต้านจากผิวเรือ

2. แรงต้านจากความดันคือ แรงที่เกิดจากอิทธิพลความหนืดของน้ำในเทอมของแรงดันตั้งฉากที่กระจายบนผิวเรือ ในขณะที่เรือเคลื่อนที่ไปแทนที่น้ำส่งผลต่ออนุภาคของน้ำรอบๆ ตัวเรือเกิดความเร็วย่อย บางจุดมีความเร็วต่ำและบางจุดมีความเร็วสูง ก่อให้เกิดแรงต้านทานจากความดันขึ้น รูปร่างของเรือมีอิทธิพลหลักต่อค่าแรงต้านจากความดัน

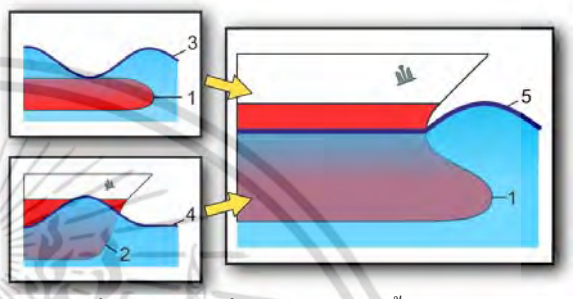
3. แรงต้านทานคลื่นคือ แรงที่เกิดขึ้นขณะที่เรือแล่นตัดผิวน้ำอิสระก่อให้ เกิดคลื่นแพร่ออกไปทางด้านข้างของเรือ คลื่นที่เกิดขึ้นเกิดจากพลังงานจากเรือส่วนหนึ่งส่งถ่ายไปให้กับน้ำกลายเป็นคลื่น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เรือลำใดที่สร้างคลื่นมากแสดงได้ว่าเรือลำนั้นมีการสูญเสียพลังงานมาก รูปร่างของเรือมีอิทธิพลหลักต่อค่าแรงต้านทานคลื่น

รูปที่ 1 แสดงสัดส่วนแรงต้านทานเรือทั้ง 3 ส่วน เปรียบเทียบของเรือแต่ละประเภท จะเห็นได้ว่าแรงต้านทานคลื่นจะเป็นปัญหาหลักสำหรับเรือประมง เนื่องจากมีสัดส่วนสูงถึงประมาณ 62% ของแรงต้านทานเรือทั้งหมด การลดแรงต้านทานจึงเน้นในส่วนของแรงต้านคลื่น แรงต้านจากผิวเรือ และแรงต้านจากความดันตามลำดับ



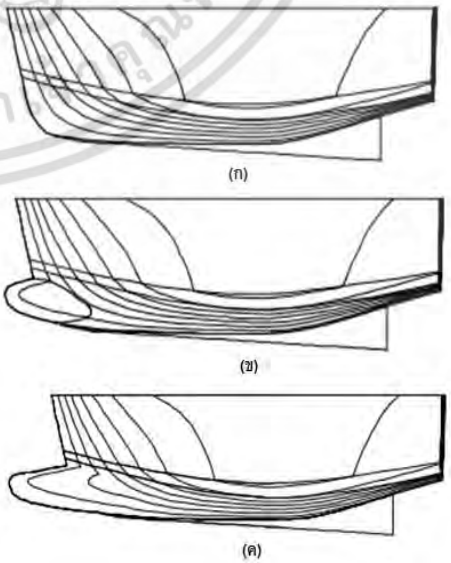
รูปที่ 1 สัดส่วนแรงต้านทานเรือทั้ง 3 ส่วน เปรียบเทียบของเรือแต่ละประเภท [3]

การลดแรงต้านคลื่นให้กับเรือวิธีที่ได้รับความนิยมคือ การติดตั้งโป่งหัวเรือ (Bulbous bow) บริเวณส่วนหน้าของหัวเรือ โดยมีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 หมายเลข 1 คือโป่งเคลื่อนที่ใต้ผิวน้ำจะทำให้เกิดคลื่นหมายเลข 3 ส่วนหัวเรือหมายเลข 2 เคลื่อนที่จะสร้างคลื่นหมายเลข 4 และถ้านำเอาโป่งติดตั้งเข้ากับหัวเรือจะทำให้คลื่นที่ถูกสร้างจากทั้ง 2 ส่วนหักล้างกันพอดี ลักษณะของคลื่นก็จะเป็นไปตามหมายเลข 5



รูปที่ 2 รูปแบบคลื่นกรณีมีการติดตั้งโป่งหัวเรือ [4]

ตัวอย่างการศึกษาโป่งหัวเรือประมงทำการทดลองในแทงค์ลากเรือ ณ The Ocean Engineering Research (OERC) โดยศึกษารูปแบบของโป่ง 2 รูปแบบเทียบกับหัวเรือเดิม [5] แสดงดังรูปที่ 3 (ก) แสดงลายเส้นเรือประมงเดิม และ (ข) และ (ค) แสดงรูปร่างของโป่งหัวเรือแบบ Bow#1 และ Bow#2 ตามลำดับ ค่าแรงต้านคลื่นสูงสุดที่ความเร็ว 8.5 น๊อต ของแบบ Bow#1 และ Bow#2 สามารถลดได้ถึง 6% และ 13% ตามลำดับ



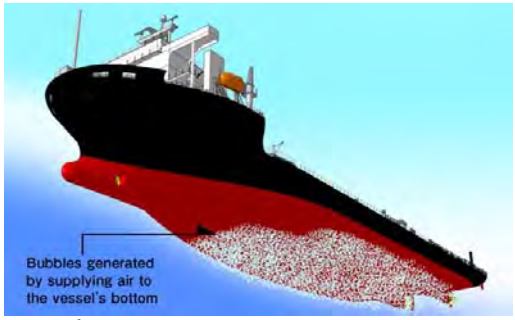
รูปที่ 3 (ก) เรือประมงเดิม (ข) Bow #1 (ค) Bow #2 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดขนาดคลื่นบริเวณส่วนท้ายเรือ (Stern Wave) เป็นอีกหนึ่งวิธีสามารถช่วยลดแรงต้านคลื่นของเรือ การติดตั้งอุปกรณ์ส่วนท้ายเรือ (Stern devices) ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการไหลของน้ำบริเวณส่วนท้ายเรือ ส่งผลให้ขนาดของคลื่นบริเวณส่วนท้ายเรือมีขนาดลดลง ตัวอย่างของการศึกษาการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนท้ายเรือ เช่น กองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้ติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า Stern Flaps แสดงดังรูปที่ 4 อุปกรณ์ดังกล่าวช่วยปรับปรุงการไหลทางชลพลศาสตร์ให้ดีขึ้น และส่งผลต่อการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 7.5% [6]

รูปที่ 4 Stern Flaps ติดท้ายเรือ [6]

แรงต้านจากผิวเรือมีสัดส่วนประมาณ 32% ของแรงต้านทั้งหมด (รูปที่ 1) การลดแรงต้านจากผิวเรือจะอาศัยการทำให้ผิวเรือสะอาดและมันเงา สามารถช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากถึง 6% [2] ค่าความขรุขระผิวเรือเฉลี่ย (Average Hull Roughness, AHR) ควรรักษาไว้ที่ระดับ 65 μm โดยค่ามาตรฐาน AHR เท่ากับ 150 μm [7] ถ้าสามารถเพิ่มความเรียบของผิวเรือได้ทุกๆ 25 μm จะทำให้สามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้เพิ่มขึ้น 0.7-1% [8] นอกจากการดูแลความสะอาดและมันเงาของลำตัวเรือ ปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยที่จะพยายามช่วยลดแรงต้านเนื่องจากผิวเรือเพิ่มขึ้น โดยการใช้ฟองอากาศเคลือบบริเวณลำตัวเรือเรียกว่า Air Lubrication [9] รูปที่ 5 ซึ่งสามารถช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 5-10% [9] จากการศึกษาพบว่าปริมาณของฟองอากาศ และตำแหน่งที่ปล่อยฟองอากาศเป็นตัวแปรหลักที่จะช่วยลดแรงต้านเนื่องจากผิวเรือลงได้ ซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมจะอยู่บริเวณด้านหลังของกึ่งกลางลำตัวเรือ [10]



รูปที่ 5 Air lubrication บริเวณใต้ท้องเรือ [11]

แรงต้านทานจากความดันมีสัดส่วนประมาณ 6% ของแรงต้านทานทั้งหมด (รูปที่ 1) การลดแรงต้านเนื่องจากความดันส่วนใหญ่จะศึกษาและวิจัยตั้งแต่ขั้นตอนการของการออกแบบเรือใหม่ อาศัยการทดลองลากเรือในแทงค์ลากเรือ หรือการจำลองสามารถช่วยออกแบบรูปร่างของตัวเรือที่เหมาะสมได้ สัดส่วนความยาวต่อความกว้างเรือประมาณ 3:1 ถึง 4:1 [12] และค่าสัมประสิทธิ์แท่งตัน (Block coefficient, C_B) ประมาณ 0.52 [13] มีส่วนช่วยให้เรือประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อน

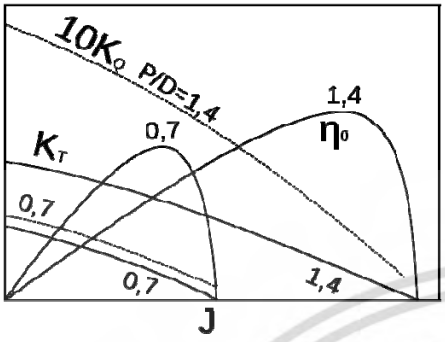
เรือส่วนใหญ่ใช้ใบจักรเรือชนิดมุมพิทช์อยู่กับที่ (Fixed Pitch Propeller, FPP) รับพลังงานจากเครื่องยนต์ผ่านชุดเกียร์ทด ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานให้เป็นแรงผลัก (Thrust) คุณลักษณะของใบจักรเรือจะอยู่ในรูปโอเพนวอเตอร์ (Open Water Characteristics) ก็คือ คุณลักษณะของใบจักรเรือที่ความเร็วทางเข้าเท่ากัน (Uniform velocity) ซึ่งยังไม่ได้รวมผลกระทบของลำตัวเรือที่มีต่อความเร็วก่อนเข้าใบจักรเรือ ดังนั้นการจะนำใบจักรเรือไปใช้งานจึงจำเป็นจะต้องนำค่า Wake fraction [14] ของเรือแต่ละลำมาพิจารณา ซึ่งเป็นค่าที่มีผลต่อความเร็วก่อนเข้าใบจักรเรือ การเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนโดยอาศัยหลักการทางด้านชลพลศาสตร์มีหลายแนวที่สามารถกระทำได้ดังนี้

1. การเลือกจุดทำงานของใบจักรเรือที่เหมาะสม

ประสิทธิภาพใบจักรเรือจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนระหว่างระยะพิทช์กับขนาดใบจักรเรือ (P/D) และค่า Advance Number (J) ก็คืออัตราส่วนระหว่างความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเข้ากับผลคูณของความเร็วรอบกับขนาดใบจักรเรือ () แสดงดังรูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ ( ) ของ P/D=1.4 ที่สูงกว่า P/D= 0.7



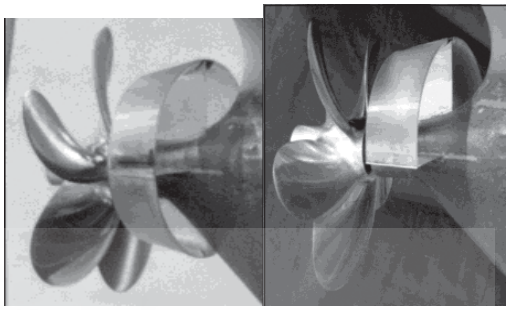
รูปที่ 6 คุณลักษณะโอเพนวอเตอร์ของใบจักรเรือ [15]

การเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมควรจะเป็นบริเวณที่ใบจักรเรือให้ประสิทธิภาพสูง ตำแหน่งที่เลือกจะทำให้ทราบค่า ขนาดใบจักรเรือ (ขนาดใหญ่ประสิทธิภาพสูงกว่าขนาดเล็ก) ความเร็วรอบใบจักรเรือ (รอบต่ำประสิทธิภาพสูงกว่ารอบสูง) ความเร็วทางเข้า และอัตราส่วนระหว่างระยะพิทช์กับขนาดใบจักรเรือที่เหมาะสมกับเรือ ใบจักรเรือควรจะอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ มันเงา ไม่บิดงอ ซึ่งจะส่งผลต่อการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้โดยตรง

2. การเพิ่มประสิทธิภาพการไหลรอบๆ ใบจักรเรือ

รูปทรงของเรือมีผลต่อการไหล ก่อให้เกิดการไหลลักษณะแบบหมุนวนก่อนเข้าสู่ใบจักรเรือ การไหลลักษณะนี้จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของใบจักรเรือ มีการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยปรับปรุงสภาพการไหลรอบๆ บริเวณใบจักรเรือด้วยกันหลายแบบ โดยจะมีทั้งในส่วนที่ติดตั้งด้านหน้า และติดตั้งด้านหลังใบจักรเรือ

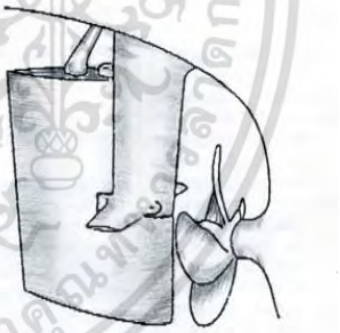
อุปกรณ์ที่ติดตั้งบริเวณด้านหน้าใบจักรเรือจะมีรูปร่างเป็น Duct ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับปรุงรูปแบบการไหลให้มีความปั่นป่วนลดลงและเพิ่มความสม่ำเสมอของความความเร็ว (Uniform flow) บริเวณท้ายเรือก่อนเข้าสู่ใบจักร แสดงดังรูปที่ 10 จะมีทั้งแบบ Duct แบบเต็มวง และแบบครึ่งวง จากการศึกษาพบว่า Duct แบบครึ่งวงจะดีกว่าแบบเต็มวง สามารถช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 5% [16]



(ก) Circular duct (ข) Semicircular duct

รูปที่ 7 Duct ติดตั้งด้านหน้าใบจักรเรือ [16]

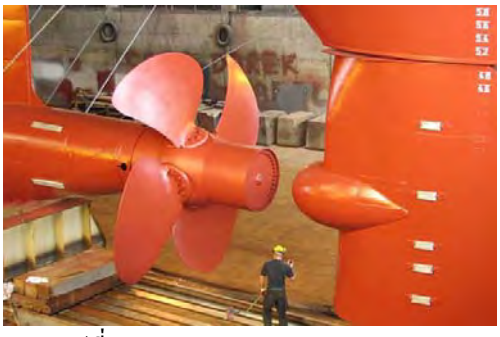
อุปกรณ์ที่ติดตั้งบริเวณด้านหลังใบจักรเรือแบบปีกฟอยล์ยึดอยู่กับที่ (Stator) ติดตั้งบริเวณหางเสือด้านหลังใบจักรเรือ ทำหน้าที่ลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลแบบหมุนวนบริเวณท้ายใบจักรเรือ แสดงดังรูปที่ 8 ถ้าประยุกต์ใช้ร่วมกับ Duct ที่ติดตั้งบริเวณด้านหน้าใบจักรจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงได้ 2-5% [13]



รูปที่ 8 Stator ติดด้านท้ายใบจักรเรือ [13]

การไหลบริเวณดุมใบของใบจักรเรือจะมีความปั่นป่วนสูง ส่งผลให้สูญเสียประสิทธิภาพการไหล จึงมีการพัฒนาหางเสือที่มีโป่งบริเวณดุมใบจักรเรือเรียกว่า Rudder Bulb System แสดงดังรูปที่ 9 และถ้านำชุด Rudder Bulb System ใช้ร่วมกับ Stator fin จะสามารถช่วยสร้างแรงผลักเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 2% ถึง 7% [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



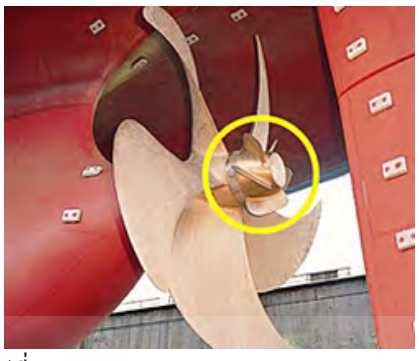
รูปที่ 9 Rudder Bulb System [18]

3. การลดการหมุนวนปลายใบและดุมใบจักรเรือ

ขณะใบจักรเรือทำงานจะมีความแตกต่างของความดันระหว่างด้านหน้าใบและด้านหลังใบ จะทำให้เกิดการไหลหมุนวนบริเวณปลายใบ วิธีการลดการไหลหมุนวนบริเวณปลายใบอาศัยชุดครอบใบจักรที่เรียกว่า Ducted propeller แสดงดังรูปที่ 10 แรงผลักที่สร้างได้ที่ขนาดเท่ากันกับใบจักรเรือทั่วไป แต่จะกินกำลังน้อยกว่า 32% หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ที่ความเร็วรอบเท่ากัน Ducted propeller จะเล็กกว่าใบจักรเรือทั่วไปประมาณ 10% แต่สามารถสร้างแรงผลักได้มากกว่า 25% ใบจักรประเภทนี้จึงเหมาะกับเรือประมงประเภทอวนลาก [13]

รูปที่ 10 Ducted propeller [19]

ขณะใบจักรเรือทำงานจะก่อให้เกิดการไหลหมุนวนบริเวณดุมใบของใบจักรได้เช่นเดียวกัน อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อช่วยลดการหมุนวนบริเวณดุมใบจักรเรียกว่า Propeller Boss Cap Fins (PBCF) แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่น PBCF สามารถช่วยลดการไหลหมุนวนบริเวณดุมใบจักรได้เป็นอย่างดี สามารถช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 5 % [20]



รูปที่ 11 Propeller Boss Cap Fins (PBCF) [20]

4. สรุปและวิจารณ์

ในยุคน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในต่างประเทศให้ความสำคัญต่อการพัฒนาการทำงานของเรือให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยมีเรือประมงอยู่ในระบบ 57,141 ลำ [21] มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 2,949.258 ล้านลิตรต่อปี [22] มีเพียงการศึกษาโครงสร้างของใบจักรที่เหมาะสมกับเรือประมงเพื่อลดปริมาณโพรงอากาศ [23] การศึกษาการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเรือ [24] และการศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในเรือ โดยการใช้สีกันเพรียงชนิดพิเศษ การใช้วัสดุเคลือบผิวเรือเพื่อลดการเสียดทาน และการใช้วัสดุไฟเบอร์แทนไม้ จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 5% 10% และ 15% ตามลำดับ ซึ่งยังขาดการสนับสนุนการวิจัยจากภาครัฐด้านเทคโนโลยีเรือประมง เพื่อประหยัดพลังงานอย่างจริงจัง [22]

เทคโนโลยีทางด้านชลพลศาสตร์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานในเรือประมงได้ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างเรือใหม่ จึงใช้งบประมาณเพียงส่วนหนึ่งสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเรือให้ดีขึ้น โดยการเลือกบางเทคโนโลยีที่เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานกับเรือแต่ละลำ สามารถเพิ่มช่องทางการประหยัดพลังงานในเรือประมงได้มากกว่า 30% เพิ่มจากแนวทางการศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในเรือ [22] ซึ่งจะส่งผลให้มีการลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้มากกว่า 884.77 ล้านลิตรต่อปี แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งอุปกรณ์บางชิ้นอาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอีกระบบหนึ่ง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยอย่างละเอียด เพื่อประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงาน

5. เอกสารอ้างอิง

[1] The New Zealand Seafood Industry Council Ltd., "Efficiency Handbook for Inshore Vessels," 2010.

[2] K. Fach and V. Bertram, "Options for fuel saving for ships, Report," FutureShip Gmbh.

[3] V. Bertram, V. Höppner and K. Fach, "Intelligant Engineering Options for Highly Fuel-Efficient Fishing Vessels," First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain, May, 2010.

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Bulbous_bow

[5] D. Friis, et al., "An overview of fishing vessel energy efficiency work in Newfoundland and Labrador, Canada", First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain, May, 2010.

[6] http://greenfleet.dodlive.mil/files/2011/09/20110830_SternFlapsEnergyFactsheet.pdf

[7] U. Hollenbach and J. Friesch, "Efficient Hull Forms-What can be gained?," 1st International Conference on Ship Efficiency, Hamburg, 2007.

[8] N.N., "Reblading to enhance economy and comfort," Marine Propulsion Feb/Mar, pp. 54-55, 2008.

[9] M. Insel, S. Gokcay and I.H. Helvacioglu, "Flow analysis of an air injection through discrete air lubrication," International Conference on Ship Drag Reduction SMOOTH-SHIPS, Istanbul, Turkey, 2010.

[10] Yanuar, Gunawan, Sunaryo and A. Jamaluddin, "Micro-bubble effect of resistance reduction on a high speed vessel model," University of Indonesia Kampus Baru UI Depok 16424.

[11] http://gcaptain.com/finds-bubbles-significantly-reduce/

[12] http://www.seafish.org/media/Publications/Fuel_Efficiency_flyer.pdf

[13] G. Messina and E. Notti, "Energy saving in trawlers : practical and theoretical approaches, C.N.R.," Institute of Marine Sciences, Marine Fishery Department, Italy.

[14] G. Younis, Powering and Propulsion, Lectures, Naval Architecture&Marine Engineering, 2002.

[15] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Open_water_propeller_characteristic.svg

[16] I. Yasuhiko, et al, "Energy saving device for ship," IHI Engineering Review, Vol. 40, No. 2., 2007.

[17] http://www.khi.co.jp/english/ship/tech/conservation/index.html

[18] http://www.ships-info.info/mer-Clipper-Sky.htm

[19] http://en.wikipedia.org/wiki/Ducted_propeller

[20] http://www.mol.co.jp/opensea/0801_sp2.html

[21] http://www.platalay.com/boatsurvey2554/index.php

[22] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "โครงการศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในสาขาเกษตร เล่มที่ 7 การทำประมง," 2547.

[23] อัครเดช สินธุภัค และคณะ, "การออกแบบและทดสอบสมรรถนะใบจักรเรือเพื่อใช้ในการประมง," สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

[24] ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์ และวัชระ เพิ่มชาติ, "การทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 20 กับเรือประมงแบบลากเดี่ยว," สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้