

ความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนเรือตรวจการณีก่อฝั่ง Ship Resistance and Propulsion for Coastal Patrol Vessel

ศราวุธ วงศ์เงินยวง นิบห์น มูลสิน

กรมอู่ทหารเรือ 2 ถ.อรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร 0-2475-4044 โทรสาร 0-2475-4041 E-mail: swny1976@yahoo.com, nibhon1962@yahoo.com

Saravut Wongngernyuang, Nibhon Moolsin

Royal Thai Naval Dockyard, 2 Arunamrin Road, Bangkoknoi, Bangkok, 10700

Tel: 0-2475-4044 Fax: 0-2475-4041 E-mail: swny1976@yahoo.com, nibhon1962@yahoo.com,

บทคัดย่อ

การออกแบบเรือที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับความต้องการใช้เรือ มีขั้นตอนหลักของการดำเนินงานการออกแบบประกอบด้วย 4 ขั้นตอน Concept Design, Preliminary Design, Contract Design, และ Detail Design ซึ่งเป็นกรรมวิธีซ้ำแล้วซ้ำอีก (Iterative Process) ในลักษณะก้นหอย (Design Spiral) โดยจะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลและรายละเอียดที่ได้ดำเนินการในหัวข้อต่าง ๆ การกำหนดลายเส้นตัวเรือ (Lines Plan) การคำนวณความต้านทานและกำลังขับเคลื่อน (Resistance and Propulsion) เป็นหัวข้อสำคัญส่วนหนึ่งที่จะนำเสนอจากการปฏิบัติงานออกแบบเรือที่ได้มีการศึกษาเลือกกรรมวิธีการคำนวณหาความต้านทานของเรือที่ให้ผลที่ดี การปรับปรุงลายเส้นตัวเรือที่เหมาะสมสามารถทำให้ความต้านทานของเรือลดลงได้ ซึ่งเมื่อนำผลการคำนวณค่าความต้านทานที่เลือกใช้และผลการทดสอบวัดค่าความต้านทานจากแบบจำลองเรือ (Model Test) มาเปรียบเทียบกับปรากฏว่ามีความสอดคล้องกัน ทำให้การคาดคะเนสมรรถนะด้านความเร็วและระยะปฏิบัติการด้วยเครื่องจักรขับเคลื่อนที่ติดตั้งบนเรือมีความถูกต้องตามลำดับของขั้นตอนการออกแบบ ข้อมูลที่กล่าวมานี้เป็น การออกแบบเรือตรวจการณีก่อฝั่ง (ต.991) ที่การต่อเรือกำลังดำเนินการอยู่ อย่างไรก็ตามการพิสูจน์ผลความถูกต้องของการออกแบบเรือในขั้นตอนสุดท้าย จะเป็นการทดสอบเรือในทะเล (Sea Trial)

Abstract

Ship Design has to fulfill the operating requirements. The process of ship design consist of 4 stages , Concept Design, Preliminary Design, Contract Design, and Detail Design which are the iterative process according to the character of design spiral. All topics of ship design steps must be verified and defined in all related design information. Lines plan, resistance and propulsion

are the importance topics that will be presented in this paper. From the design of coastal patrol vessel (T 991), the ship resistance calculation method was suitability and the appropriate modification of lines plan can reduces the resistance. Then the comparison of resistance calculation and resistance by model test results are coincident. Therefore, the prediction of speed and endurance due to the selected prime mover on board having more precise in those 4 design stages. However, the proving of ship design precision at the end of ship construction will be performed by sea trial.

1. บทนำ

การนำหลักการและทฤษฎีการออกแบบเรือที่มีความเหมาะสม มาประยุกต์ใช้งานอย่างถูกต้อง จะทำให้ได้เรือที่มีคุณสมบัติตามความต้องการที่กำหนด แนวทางการออกแบบเรือ [1] กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบเรือ 4 ขั้นตอน และหัวข้อการดำเนินการ 12 หัวข้อ ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้อยกกันอย่างใกล้ชิด เนื่องจากเรือเป็นวัสดุลอยน้ำ การเปลี่ยนแปลงใด ๆ จะมีผลกระทบต่อทั้งกันได้เสมอ เช่น น้ำหนักของอุปกรณ์ภายในเรือเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระวางขับน้ำของเรือเพิ่มขึ้น ความต้องการกำลังขับเคลื่อนเพิ่มขึ้น ระดับกินน้ำลึกของเรือที่บริเวณหัวเรือ และท้ายเรือเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า ทริมเรือ และยังมีผลถึงความสามารถด้านการทรงตัวที่อาจดีขึ้นหรือแย่ลงได้อีกด้วยเป็นต้น เหล่านี้เป็นข้อมูลการออกแบบเรือที่นาเวสสถาปนิกจะต้องทำให้มีความสอดคล้องและเหมาะสม (Optimum Design) หลีกเลี่ยงการออกแบบเกินความจำเป็น (Over Design) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเรือ การนำเสนอข้อมูลวิธีการคำนวณหาความต้านทาน เพื่อให้ทราบถึงกำลังขับเคลื่อนที่ต้องการของเรือ ซึ่งเป็นหัวข้อสำคัญที่ได้ดำเนินการในช่วงต้นของการออกแบบเรือตรวจการณีก่อฝั่ง

ไกลฝั่ง (ต.991) เป็นการพัฒนายายแบบเรือจากเรือโครงการพระราชดำริ (ชุดเรือ ต.91) เรือลำสุดท้ายเรือ ต.99 ให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบขนาดและแบบเรือประเภทเดียวกันที่มีใช้งานในประเทศและต่างประเทศ จึงได้ทำการออกแบบลายเส้นเรือ (Lines Plan) เริ่มแรกให้มีลักษณะเช่นเดิม แต่เพิ่มขนาดขึ้นตามสัดส่วนเฉพาะลายเส้นตัวเรือได้แนวน้ำคงรูปทรงของลายเส้นเดิม แต่ปรับปรุงลายเส้นบางส่วน เช่น การเพิ่มมุมเอียงบริเวณทวนหัว ตัวเรือด้านข้าง ผายออกทำมุมในแนวตั้งมากกว่า 6 องศา เก่งเรือทำมุมเอียงในทุกด้าน

2. ความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนเรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง

หลักเกณฑ์สำหรับการประมาณค่ากำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ที่จะติดตั้งภายในเรือ และทำให้เรือมีความเร็วออกแบบสูงสุด (Maximum Design Speed) ณ ระวางขับน้ำเต็มที ความต้องการเบื้องต้นคือการประมาณค่าความต้านทานเรือ จากการออกแบบขั้นต้น ได้พัฒนาแบบจากลายเส้น เรือตรวจการณ์ชุด ต.99 ซึ่งเป็นเรือประเภท Semi Displacement Hull Type หรือ Pre Planing Hull Type เป็นเรือลักษณะเดียวกับเรือลาดตระเวน ซึ่งตัวเรือส่วนหน้าสามารถยกตัวได้เล็กน้อย (Lift Capacity) แต่ข้อด้อยของเรือประเภทนี้คือ ต้องการเครื่องยนต์ที่มีกำลังขับเคลื่อนขนาดใหญ่ขึ้น ความสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น ตัวเรืออาจมีรูปร่างผสมผสาน เช่น ส่วนหัวเรือเป็นรูปตัววี ส่วนท้ายเรือแบนราบ หรือส่วนหัวเรือเป็นรูปตัววี ส่วนท้ายเรือกลมมน และในส่วนของเรือชุด ต.99 ได้รับการสร้างแบบจำลองพร้อมทั้งทำ Model Test เพื่อหาค่าความต้านทานเรือ ซึ่งได้ดำเนินการและสรุปเป็นข้อมูล เมื่อ ธันวาคม 2513 [2] ข้อมูลนี้เราจะนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จหรือสูตรหรือกราฟที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน เมื่อได้โปรแกรมสำเร็จหรือสูตรหรือกราฟที่ให้ค่าความต้านทานเรือใกล้เคียงที่สุดแล้ว จึงจะนำมาใช้ในการประมาณค่าความต้านทานสำหรับเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งลำใหม่ และประมาณการหาค่ากำลังขับเคลื่อนเรือเบื้องต้นต่อไป

2.1 การเลือกวิธีประมาณค่าความต้านทานเรือ

โปรแกรมสำเร็จหรือสูตรหรือกราฟที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าความต้านทานเรือ และกำลังขับเคลื่อนเรือ ที่สามารถสืบค้นได้ประกอบด้วย

2.1.1 โปรแกรมประมาณค่าความต้านทาน [3]

โปรแกรมสำเร็จที่สามารถใช้กับเรือแบบต่าง ๆ เช่น Savitsky (สำหรับเรือ Pre Planing) หรือ Savitsky (สำหรับเรือ Planing) หรือ Holtrop (สำหรับเรือ Tanker, Cargo, Fishing, Tug, Container, Frigate) หรือ Lahtiharju (สำหรับเรือ Planing) หรือ Van Oortmerssen (สำหรับเรือ Trawler, Tug) หรือ Series 60 (สำหรับเรือ Single Screw Cargo Ship) หรือ Delft Series (สำหรับเรือ Sailing, Yacht)

โปรแกรมสำเร็จนี้ จำเป็นต้องใช้ Offset Table จากลายเส้นเรือมาสร้าง Hull Form ให้กับโปรแกรมก่อน จากนั้นจึง Run เพื่อประมาณค่าความต้านทานเรือและกำลังขับเคลื่อนเรือ

ส่วนของเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งนั้น จะใช้โปรแกรมย่อยได้ขึ้นกับค่า Parameter หรืออัตราส่วน (Ratio) ที่กำหนดขึ้น เช่น ความยาวเรือ (L) ปริมาตรเรือ (V) สัมประสิทธิ์รูปทรง (Cb, Cw, Cm, Cp) ระยะเวลา

ความลอย (LCB) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/B) อัตราส่วนความกว้างต่อระยะกินน้ำลึก (B/T) อัตราส่วนพื้นที่ตัดขวางท้ายเรือกับพื้นที่ตัดขวางกลางลำ (A_T/A_X) อัตราส่วนระยะศูนย์กลางน้ำหนักกับความยาว (LCG/L) อัตราส่วนความกว้างยกกำลังสามกับปริมาตร (B³/V) และค่า Froude Number (Fn)

2.1.2 กราฟประมาณค่าความต้านทาน [4]

สถาบันที่มีถึงลากเรือจำลองหรือทำแบบเรือ ซึ่งได้ประมาณค่าความต้านทานส่วนที่เหลือ (Residual Resistance) ออกมาเป็นกราฟสำเร็จ ซึ่งเป็นกราฟของความต้านทานที่เกิดจาก Wave Making Resistance และ Eddy Current Resistance ส่วนความต้านทานที่เกิดจาก Frictional Resistance และ Air Resistance มีการกำหนดสูตรที่ใช้ในการประมาณค่าไว้เรียบร้อยแล้ว กราฟสำเร็จประกอบด้วย Nordstrom's Methodical Series หรือ De Groot Series หรือ Series 63 Methodical Tests หรือ Series 64 Methodical Tests หรือ SSPA Methodical Series หรือ NPL Methodical Series หรือ Statistical Resistance Prediction Method Derived by Mercier and Savitsky

การใช้กราฟเหล่านี้ จำเป็นต้องมีค่า Parameter หรืออัตราส่วน (Ratio) ที่สอดคล้องกัน เช่นค่าสัมประสิทธิ์รูปทรง (Cb, Cw, Cm, Cp) ระยะศูนย์กลางความลอย (LCB) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/B) อัตราส่วนความกว้างต่อระยะกินน้ำลึก (B/T) อัตราส่วนพื้นที่เปียกของเรือกับรากที่สองของปริมาตรคูณความยาว $(S/\sqrt{V \cdot L})$ อัตราส่วนระยะศูนย์กลางความลอยกับความยาวเรือ (LCB/L) เป็นต้น

2.1.3 โปรแกรมประมาณค่ากำลังขับเคลื่อน [5]

โปรแกรมประมาณค่ากำลังขับเคลื่อนของ University of Michigan (Holtrop Type) โปรแกรมนี้ ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเรือ เช่น ความยาวเรือ (L) ความกว้างเรือ (B) ระยะกินน้ำลึกเรือ (T) สัมประสิทธิ์รูปทรง (Cb, Cw, Cm, Cp) ระยะศูนย์กลางความลอย (LCB) คุณลักษณะใบจักร เเปอร์เซ็นต์ส่วนยื่นนอกตัวเรือ เป็นต้น จากนั้นจึง Run โปรแกรมเพื่อประมาณค่าความต้านทานเรือและกำลังขับเคลื่อนเรือ

2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบวิธีประมาณค่าความต้านทานและกำลังขับเคลื่อน

การดำเนินการขั้นต้นตรวจสอบลายเส้นของเรือชุด ต.99 เดิม ประกอบด้วย ค่า Parameter และอัตราส่วน (Ratio) ของเรือกับข้อจำกัดต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นกับโปรแกรมสำเร็จหรือสูตรหรือกราฟที่เกี่ยวข้อง พบว่า ข้อมูลของเรือ ต.99 สามารถใช้ โปรแกรมสำเร็จเฉพาะที่เป็นวิธีการของ Savitsky (Pre Planing), Savitsky (Planing), Holtrop ในหัวข้อ 2.1.1 และ โปรแกรมประมาณค่ากำลังขับเคลื่อนของ University of Michigan (Holtrop Type) ในหัวข้อ 2.1.3 ส่วนโปรแกรมชนิดอื่นไม่ผ่านเกณฑ์หรือข้อจำกัด ในทำนองเดียวกัน กราฟที่สามารถสืบค้นได้ในข้อ 2.1.2 ไม่ผ่านเกณฑ์เช่นกัน

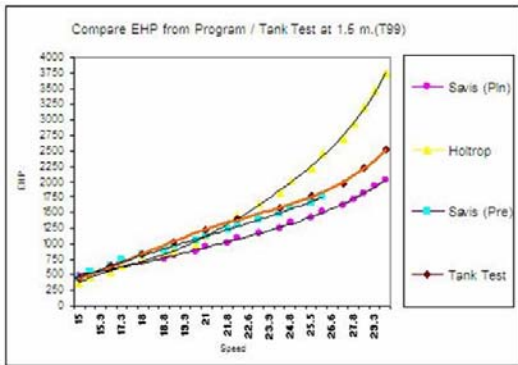
เมื่อตรวจสอบโปรแกรมสำเร็จชนิด Savitsky (Pre Planing), Savitsky (Planing), Holtrop ใช้ ลายเส้นเรือในการประมาณค่าความต้านทานเรือ ให้ค่าที่ละเอียดใกล้เคียงที่สุด เปรียบเทียบกับ โปรแกรมประมาณค่ากำลังขับเคลื่อน ของ University of Michigan ซึ่งใช้กับเรือชนิด Holtrop Type เหมือนกับโปรแกรมสำเร็จแต่การ Run โปรแกรมไม่จำเป็นต้องใช้ลายเส้นเรือ แต่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเรือแทนทำให้ค่า

ความต้านทานที่ได้มีความละเอียดถูกต้องของข้อมูลน้อยกว่า จึงใช้โปรแกรมสำเร็จ ในการดำเนินการประมาณค่าความต้านทานเรือตรวจการณีกัลฟ์ลำใหม่ต่อไป

2.3 การคำนวณค่าความต้านทานเรือลำใหม่

การดำเนินการเป็นไปตามขั้นตอนดังนี้

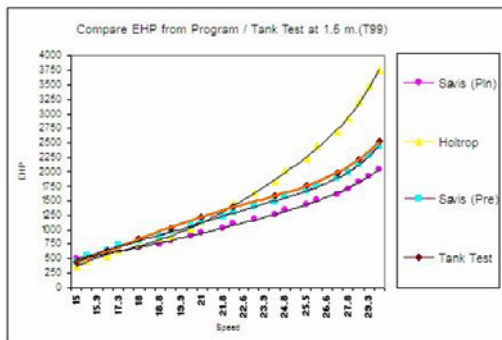
1. ใช้ Offset Table เรือ ต.99 สร้างลายเส้นตัวเรือ (Hull Form) ใช้โปรแกรมสำเร็จ Savitsky (Pre Planing), Savitsky (Planing), Holtrop ทำการ Run โปรแกรม และนำผลของค่าความต้านทานมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานที่ได้จากผลของ Model Test ตามที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลการคำนวณค่าความต้านทานด้วยวิธีต่าง ๆ

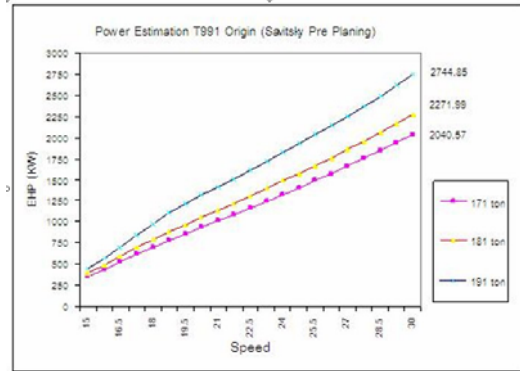
ผลของ Savitsky (Pre Planing) เป็นโปรแกรมสำเร็จที่ให้ค่าความต้านทานเรือใกล้เคียงกับผลของ Model Test มากที่สุด แต่พบว่าค่าความต้านทานตั้งแต่ความเร็วเรือเกินกว่า 27.75 นอต ไม่แสดงค่าสาเหตุเกิดจากค่า Froude Number ($F_{nv} = V_s / \sqrt{g \cdot V_{ol}^{1/3}}$) ที่ความเร็วเกินกว่า 27.75 นอต เรือเปลี่ยนสภาวะจาก Pre Planing Type ($F_{nv} = 1 - 2$) เป็น Planing Type ($F_{nv} > 2$) ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่เรียกว่า High Speed Limit ของตัวโปรแกรม ส่วนแบบ Holtrop ($F_{nl} = 0.8$) ยังคงแสดงผลของค่าความต้านทานแต่ค่าค่อนข้างสูง และเส้นโค้ง Holtrop ไม่สอดคล้องกับของ Model Test จึงสรุปได้ว่าโปรแกรมที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด คือ Savitsky (Pre Planing)

เมื่อตรวจสอบผลของ Model Test พบว่าเส้นโค้งมีความชันที่ต่อเนื่อง ไม่มีมีการเปลี่ยนความชันเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลัน ซึ่งค่าความต้านทานของ Savitsky (Pre Planing) ที่ความเร็วเกินกว่า 27.75 นอต จะมีความต่อเนื่องของความชันที่เหมือนกับของ Model Test จึงทำการสร้างสมการเส้นโค้งเพื่อหาค่าความต้านทานส่วนที่เกิน High Speed Limit ไปจนถึงความเร็วสูงสุดที่ต้องการทราบ คือ 30 นอต ทำให้ได้กราฟของเส้นโค้งที่สมบูรณ์ ตามรูปที่ 2



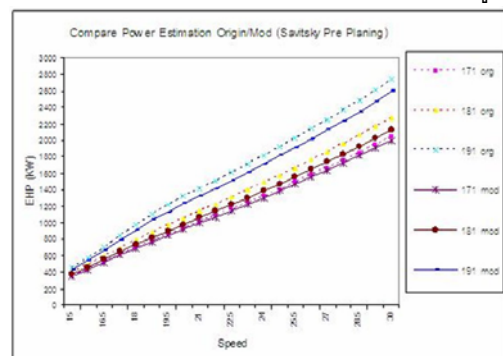
รูปที่ 2 เส้นโค้งค่าความต้านทานวิธี Savitsky (Pre Planing)

2. นำลายเส้นเรือตรวจการณีกัลฟ์ลำใหม่มาคำนวณหาค่าความต้านทาน โดยใช้โปรแกรม Savitsky (Pre Planing) เพื่อกำหนดค่ากำลังขับเคลื่อน ณ ความเร็วต่าง ๆ โดยกำหนดระวางขับน้ำ 3 ขนาด คือ 171 ตัน 181 ตัน 191 ตัน ลายเส้นนี้มีลักษณะของตัวเรือเปล่า (Bare Hull) ยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนยื่นนอกตัวเรือ เช่น กระดุกงู ปีก ยงโย่ เพลลาใบจักร หางเสือ เป็นต้น ค่าความต้านทานเรือที่ได้รายละเอียดตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการคำนวณค่าความต้านทาน (Bare Hull)

3. กองทัพเรือขอเข้าเฝ้าพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เพื่อทูลเกล้าถวายแบบเรือตรวจการณีกัลฟ์ลำใหม่ และขอพระราชทานพระบรมราชวินิจฉัย เมื่อ 19 กุมภาพันธ์ 2547 โดยมีเอกสารบรรยายความเป็นมาของการออกแบบและแบบเรือรวม 5 ลำดับ [6] ซึ่งพระองค์ได้มีพระบรมราชวินิจฉัยยกย่องคือ รูปทรงส่วนท้ายเป็น Planing ควรให้โค้งมน ต้องมีความคงทนทะเล เนื่องจากคลื่นลมในอ่าวไทยมีลักษณะสับสน (Irregular Wave) ความเร็วเรือที่เสนอน่าจะเหมาะสม ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการทรงตัวของเรือ ขอให้ตรวจสอบความแข็งแรงของตัวเรือและความทนทาน เพื่อให้ใช้งานได้นาน กองทัพเรือโดยกรมยุทธการเรือจึงรับสนองพระบรมราชวินิจฉัย โดยการปรับปรุงลายเส้นตัวเรือส่วนท้ายจาก Station 4 ถึงท้ายเรือให้มีความโค้งมนมากขึ้น และออกแบบติดตั้งครีบก้นโคลงที่เรียกว่ากระดุกงูปีก หรือ Bilge Keel บริเวณกลางลำ และเพิ่มความหนาเปลือกเรือ พร้อมทั้งการปรับปรุงโครงสร้าง ซึ่งภายหลังการปรับปรุงลายเส้น พบว่าที่ระวางขับน้ำเดียวกัน ความต้านทานเรือสามารถลดลงไปถึงร้อยละ 6 ตามรูปที่ 4



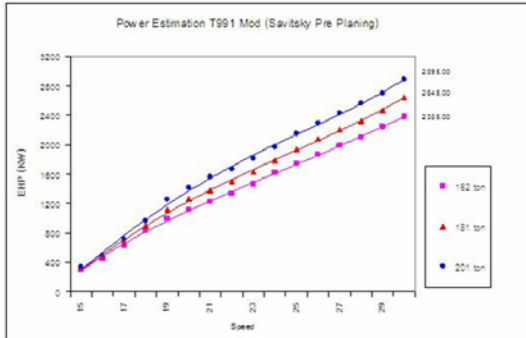
รูปที่ 4 ค่าความต้านทานลดลงร้อยละ 6

4. แบบลายเส้นตัวเรือที่ได้ดำเนินการตามแนวทางพระราชทาน ได้นำมาใช้ในการออกแบบรายละเอียด (Detail Design) การประมาณค่าความต้านทานเรือและกำลังขับเคลื่อนเรือตามขนาดจริง (Full Scale Ship) โดยใช้โปรแกรม Savitsky (Pre Planing) ที่ความเร็ว 27 และ 30

นอต ณ ระวางขับน้ำต่าง ๆ โดยประกอบอุปกรณ์ส่วนอื่น เช่น กระดุกงู ปีก ยงโย่ เพลลาใบจักร ทางเสือ เป็นต้น เรือขนาดจริงมีความต้องการกำลังขับเคลื่อน (Effective Power, P_E) ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่ากำลังที่ต้องการจากผลการคำนวณค่า (P_E) Full Scale [3]

| ระวางขับน้ำ (sea water) | 27 นอต | 30 นอต |
|-------------------------|--------|--------|
| 165 ตัน | 1989 | 2385 |
| 185 ตัน | 2203 | 2645 |
| 205 ตัน | 2440 | 2895 |



รูปที่ 6 ผลการคำนวณค่ากำลังที่ต้องการ (P_E)

3. การทดสอบแบบจำลองเรือ (Model Test)

การทดสอบแบบจำลองเรือดำเนินการเมื่อปลายปี 2547 โดยว่าจ้างสถาบันทดสอบแบบจำลองเรือ Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH (HSVA) ประเทศเยอรมัน สร้างแบบจำลองเรือและทดสอบ การทดสอบที่ได้ดำเนินการคือ Bare Hull, Self Propulsion, Seakeeping, Maneuvering Test ที่เกี่ยวข้องกับค่าความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนคือ Bare Hull, Self Propulsion ผลที่ได้จากการทดสอบได้ทำที่ระวางขับน้ำออกแบบ 165, 185 และ 205 ตัน ตามอัตราส่วน (Scale Model) ที่สามารถแปลงค่าผลการทดสอบเป็นค่าจริงตามขนาดเรือจริง Full Scale Ship



รูปที่ 7 การทดสอบแบบจำลองเรือ

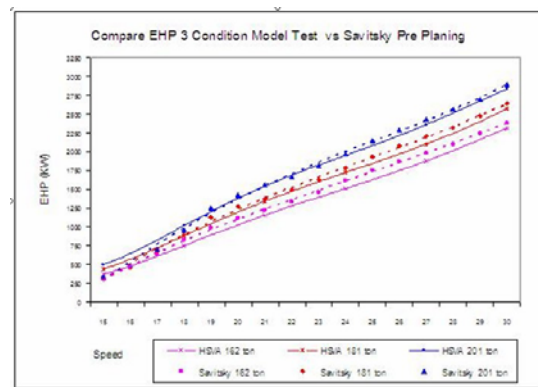
3.1 การเปรียบเทียบผลค่าความต้านทาน

เมื่อเปรียบเทียบกับการประมาณค่าความต้านทานโดยโปรแกรม Savitsky (Pre Planning) ที่ระวางขับน้ำเดียวกัน พบว่าผลการประมาณค่าความต้านทานโดยโปรแกรม Savitsky (Pre Planning) มีค่าใกล้เคียงกับผลของ Model Test แต่สูงกว่าเล็กน้อย เปรียบเทียบค่า Effective power ที่ความเร็วต่าง ๆ ตามรูปที่ 7 และผลการคำนวณที่ได้ค่าความต้านทานที่ได้ดำเนินการในช่วงต้นของงานออกแบบเรือ และผลการทดสอบแบบจำลองเรือ Model Test (Full Scale) ได้ถูกนำมาบันทึก

เปรียบเทียบตามตารางที่ 2 แสดงค่าที่ความเร็ว 27 และ 30 นอต ณ ระวางขับน้ำต่าง ๆ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่า Effective Power, P_E [7]

| วิธีการ | Model Test | | Savitsky Method | |
|-------------|------------|--------|-----------------|--------|
| ระวางขับน้ำ | 27 นอต | 30 นอต | 27 นอต | 30 นอต |
| 165 ตัน | 1880 | 2317 | 1989 | 2385 |
| 185 ตัน | 2104 | 2575 | 2203 | 2645 |
| 205 ตัน | 2363 | 2835 | 2440 | 2895 |



รูปที่ 8 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความต้านทาน

3.2 ค่าความต้องการกำลังขับเคลื่อน (Self Propulsion)

การทดสอบแบบจำลองของเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณอย่างพอเพียงที่สามารถทำการทดสอบกำลังขับเคลื่อน เรียกว่า Self Propulsion Test คือการติดตั้งใบจักรจำลองตามอัตราส่วน ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 2 ชุดตามลักษณะเรือจริงติดตั้ง 2 ชุดเพลลาใบจักร สามารถวัดค่าความต้องการกำลังขับเคลื่อนก่อนเข้าใบจักร ที่เรียกว่า Delivery Power ซึ่งให้ความถูกต้องในการกำหนดความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี โดยมีค่ากำลังขับเคลื่อนตามที่แสดงในตารางที่ 3 ที่ได้ทดสอบภายใต้เงื่อนไขเพิ่มค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากการปะทะลมความเร็ว 4.6 นอต ตารางที่ 3 ค่ากำลังที่ต้องการจากผลการทดสอบ Self Propulsion [7]

| Power | Effective Power, P_E | | Delivery Power, P_D | |
|-------------|------------------------|--------|-----------------------|--------|
| | (Kw) | | (Kw) | |
| ระวางขับน้ำ | 27 kts | 30 kts | 27 kts | 30 kts |
| 165 ตัน | 2102 | 2620 | 3049 | 3744 |
| 185 ตัน | 2335 | 2874 | 3405 | 4144 |
| 205 ตัน | 2583 | 3137 | 3844 | 4618 |

Note: Head Wind 2.365 m/s (BF 2)

4. ระบบขับเคลื่อนกับค่าความต้านทาน

4.1 ระบบขับเคลื่อนเรือ (Ship Propulsion System)

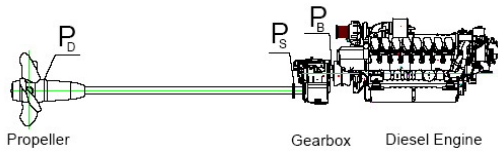
ระบบขับเคลื่อนเรือมีส่วนประกอบหลักคือ เครื่องต้นกำลังขับเคลื่อน (Prime Mover) เกียร์ (Gear) เพลลา (Shaft) และใบจักร (Propeller) หรืออุปกรณ์ขับเคลื่อน (Propulsor) สำหรับเรือที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนมีการประกอบกันของส่วนประกอบ ตามรูปที่ 9 การคำนวณค่ากำลังขับเคลื่อนในระบบเพลลาใบจักรมีค่าต่าง ๆ ดังนี้ Brake Power,

P_B เป็นกำลังขับที่ท้ายเครื่องยนต์ Shaft Power, P_S เป็นกำลังขับที่ออกจากเกียร์เข้าเพลลาใบจักร และ Delivery Power, P_D เป็นกำลังขับที่ส่งถึงใบจักร ซึ่งจะต้องเอาชนะค่าความต้านทาน (Resistance, R_T) ที่เกิดขึ้น ณ ความเร็วต่าง ๆ ของเรือ ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังงานที่เรียกว่า Effective Power, P_E ตามรูปที่ 10

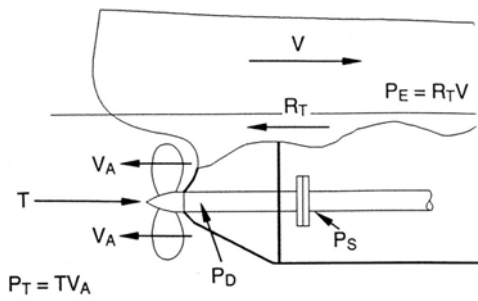
ค่าประสิทธิภาพในระบบเพลลาใบจักร

$$\eta_G = \text{Gear Efficiency, } P_S/P_B$$

$$\eta_S = \text{Shaft Efficiency, } P_D/P_S$$



รูปที่ 9 การประกอบกันของอุปกรณ์ระบบขับเคลื่อน

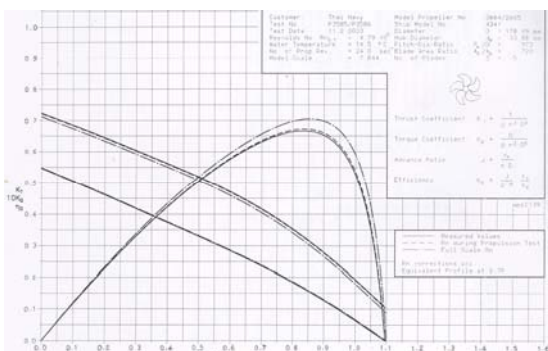


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของกำลังขับเคลื่อน

4.2 ใบจักรขับเคลื่อน (Propulsor)

อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Propulsor) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานกลจากการหมุนของเพลลาเป็นแรงผลัก (Thrust) ให้เรือเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่ต้องการ ใบจักรเรือชนิดปีกคงที่ (Fixed Pitch Propeller, FPP) ที่เลือกใช้ในการทดสอบแบบจำลองเรือ [7]

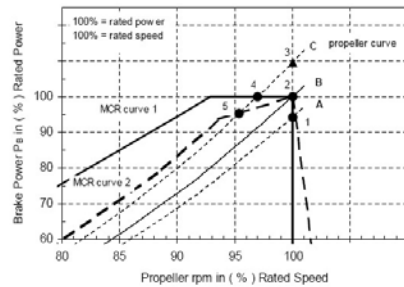
ค่าการคำนวณเลือกใบจักรที่เหมาะสม ด้วยคุณลักษณะเฉพาะของใบจักร แสดงค่าผลการคำนวณคุณสมบัติด้วยเส้นโค้ง K_T , K_Q และ $ETAO$ ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์กับค่า J ตามรูปที่ 11 ที่จะสามารถนำไปคำนวณหาความต้องการกำลังขับของใบจักร Delivery Power, P_D และความสามารถในการผลักเรือ (Thrust, T) ที่สัมพันธ์โดยตรงกับค่า Effective Power, P_E ที่คำนวณได้จากข้อ 2 หรือผลการทดสอบในข้อ 3



รูปที่ 11 เส้นโค้งคุณลักษณะใบจักร (Propeller Characteristic Curve)

4.3 สมรรถนะของระบบขับเคลื่อนเรือ (Propulsion System Performance)

เมื่อนำผลการคำนวณความต้องการกำลังขับเคลื่อน (Self Propulsion) เส้นโค้งคุณลักษณะใบจักร (Propeller Characteristic Curve) และค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Engine Performance) ที่เลือกใช้ติดตั้งบนเรือ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (RPM) และกำลังขับ (Kw) เพื่อให้นำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง ตามรูปที่ 12 แสดงถึงเส้นโค้งความต้องการพลังงานของใบจักรที่มีการเปลี่ยนแปลง (A, B, C) เนื่องจาก ระดับกินน้ำลึก สภาพอากาศ หรือการเกิดเพรียง ที่ทำให้เส้นโค้งใบจักรเปลี่ยนจาก A ไปถึง C มีผลโดยตรงต่อรอบสูงสุดของเครื่องยนต์ ซึ่งหมายถึงความเร็วสูงสุดของเรือจะลดลง ณ จุดหมายเลข 4 และ 5 ทั้งไม่สามารถไปถึงได้ ณ จุด 3 มีเพียงระหว่างจุด 1 และ 2 ที่เครื่องยนต์ทั้งสอง (MCR Curve 1 and 2) สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นการกำหนดความเร็วสูงสุด และระยะปฏิบัติการของเรือสามารถกำหนดได้จากข้อมูลความต้องการกำลังขับของใบจักร และขีดความสามารถของเครื่องยนต์ที่เลือกใช้ติดตั้งบนเรือ



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความต้องการพลังงานใบจักร [8]

เส้นโค้งตามรูปที่ 12 ใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมของระบบขับเคลื่อนที่เรียกว่า Engine and Propeller Matching ที่จะกำหนดสมรรถนะความเร็วสูงสุดในย่านการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงของเครื่องยนต์ที่เลือกใช้ติดตั้งให้กับเรือที่จะสร้างขึ้นได้อย่างเหมาะสม

5. ระบบขับเคลื่อนเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง

ค่าการคำนวณความต้านทานเรือในขั้นต้นของการออกแบบ ที่ให้ผลใกล้เคียงความเป็นจริง จะทำให้สามารถประมาณการความเร็วสูงสุดของเรือได้อย่างถูกต้อง ผู้ออกแบบได้กำหนดเป้าหมายความเร็ว (Target Speed) ไว้ที่ 29 นอต ระวังขับน้ำเต็มที 185 ตัน จากผลการทดสอบแบบจำลองเรือ Self Propulsion Test โดยใช้ใบจักรจำลองซึ่งมีมาตราส่วนลดลงจากใบจักรจริงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 เมตร จำนวน 2 พวง ๆ ละ 5 ปีก ใบจักรเป็นชนิดปีกคงที่ ณ ระวังขับน้ำ 205 ตัน ความเร็วเรือ 30 นอต ความเร็วลม 4.6 นอต ประสิทธิภาพใบจักร 67 เปอร์เซ็นต์ ต้องการกำลังขับเคลื่อนก่อนเข้าใบจักรรวม (P_D) 4,618 Kw เมื่อคิดค่าการสูญเสียกำลังงานที่เพลลาและเกียร์ที่รอบประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สูงกว่าปกติ ความต้องการกำลังขับที่ท้ายเครื่องยนต์รวม (P_B) 4,987 Kw ซึ่งตามหลักของการเลือกเครื่องยนต์ควรให้เครื่องยนต์ทำงานที่ความต้องการ P_B สูงสุด ระหว่าง 85 - 95 เปอร์เซ็นต์ของ MCR เพื่อการสำรองกำลังงานส่วนหนึ่งสำหรับ Future Growth และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับตัวเรือ เครื่องยนต์ที่

ติดตั้งจริงมีกำลังขับเคลื่อน 2,720 Kw จำนวน 2 เครื่อง เหล่านี้พิสูจน์ได้ว่าเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งลำใหม่นี้ จะสามารถทำความเร็วได้ตามเป้าหมาย โดยเครื่องยนต์จะถูกใช้งานในย่านการทำงานที่เหมาะสม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ของการออกแบบ จนถึงขั้นการออกแบบรายละเอียด (Detail Design for Construction) ซึ่งจะต้องมีการทบทวนตรวจสอบและควบคุมอย่างจริงจังจนถึงการทดสอบเรือในทะเล (Sea Trial) ที่เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะตรวจสอบความสมบูรณ์ของงานออกแบบเรือและระบบขับเคลื่อน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังขับเคลื่อนมีดังนี้

- ระวางขับน้ำ (Displacement)
- ทริมเรือ (Trim)
- ความราบเรียบของท้องเรือ (Smoothness)
- ความต้านทานลม (Wind Resistance)
- ลักษณะของพื้นที่ใช้งาน (Operating Area)

6. สรุป

การออกแบบเรือในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะด้านความเร็วและระยะปฏิบัติการเป็นความต้องการที่มีความสำคัญ มีการดำเนินการตั้งแต่ขั้นต้นของงานออกแบบเรือ ด้วยการประมาณค่าความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนเรือ การเลือกใช้วิธีการคำนวณที่เหมาะสมกับรูปทรงตัวเรือ ชนิดของเรือประเภทนั้น ๆ จะต้องมีความถูกต้องใกล้เคียง เพื่อให้การเลือกเครื่องจักรขับเคลื่อนที่มีกำลัง ขนาด และน้ำหนัก ตามระวางขับน้ำออกแบบของเรือ จะสามารถตอบสนองความต้องการ เนื่องด้วยการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดใด ๆ ในงานออกแบบเรือจะมีผลกระทบต่อเกี่ยวเนื่องและสัมพันธ์ถึง ความต้านทาน น้ำหนัก และทริม เป็นต้น รวมถึงขีดความสามารถด้านการทรงตัวอีกด้วย

การนำผลการทดสอบแบบจำลองเรือ (Model Test) เปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่เลือกให้ผลที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ทำให้การออกแบบระบบขับเคลื่อนของเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งบรรลุความต้องการเป้าหมายความเร็วที่กำหนดในขั้นต้นของการออกแบบ

การนำเสนอข้อมูลระบบขับเคลื่อนกับค่าความต้านทานที่ต้องการเป็นหลักการที่ผู้ออกแบบระบบขับเคลื่อนต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้องในการนำมาใช้งานออกแบบเรือ ให้มีสมรรถนะตามความต้องการตั้งแต่ขั้นออกแบบเบื้องต้นจนถึงขั้นออกแบบรายละเอียด

การกำหนดสมรรถนะด้านความเร็วที่ถูกต้องมีหลักเกณฑ์ที่สามารถคาดการณ์ได้ จากค่าความต้านทานของเรือที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น ตามความเร็วและระวางขับน้ำที่เพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับกำลังของเครื่องจักรขับเคลื่อนที่ติดตั้งบนเรือ

7. กิตติกรรมประกาศ

เรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง ต.991 เป็นโครงการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษาพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และได้รับพระมหากรุณาธิคุณพระราชทานพระบรมราชวินิจฉัย เป็นความภาคภูมิใจที่กองทัพเรือที่จะน้อมเกล้าถวายเรือในนามของปวงชนชาวไทย ณ 5 ธันวาคม 2550

เอกสารอ้างอิง

[1] ศราวุธ วงศ์เงินยวง ธีรัฐกร สุพัฒนะกรกิจ พงศ์สรวิไลประวัต, “นวัตกรรมการออกแบบเรือ (Ship Design Innovation)”, ME-NETT 18th, Khonkhan, Thailand, 18-20 Oct. 2004

[2] HSVA Report, “Patrol Boat” HAMVURGISCHE SCHIFFBAU-VERSUCH ANSTANT, THE HAMBURG SHIP MODEL BASIN, GERAMANY, HSVA Model No. 2270-0013, Dec. 1970

[3] Ship Design Program, For Example: Autoship or Tribon or Maxsurf or ShipWorks Design & etc.

[4] Edward V. Lewis, “High Speed Craft and Advanced Marine Vehicles” Principles of Naval Architecture, Volume 2 Resistance Propulsion and Vibration,

[5] M.G. Parsons “Power Prediction Program” Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, Michigan, USA

[6] <http://www.navy.mi.th/dockyard/> โครงการจัดหาเรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา <๒ ความเป็นมา <๒ บันทึกความเป็นมา

[7] HSVA Report, “Model Test for 38 m Patrol Ship” HAMVURGISCHE SCHIFFBAU-VERSUCH ANSTANT, THE HAMBURG SHIP MODEL BASIN, GERAMANY, HSVA Model No. 4341, Report WP113/04, Dec. 2004

[8] Ship System Technology “Technical Project Guide Marine Application Part 1 General” MTU Friedrichafen GmbH, June 2003 Rev. 1.0, Chapter 6.1 – 6.4