แง่คิดจากวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือในงานซ่อมทำตัวเรือ

Some Aspects from Naval Architecture and Marine Engineering in Ship Hull Repair

นาวาเอก ดร.พัลลภ เขม้นงาน

รองผู้อำนวยการกองโรงงานเรือเหล็ก กองโรงงานเรือเหล็ก

อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ

121 หมู่ 5 ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290

Capt. Panlop Kamen-Ngan Ph.D.

Steelwork Division,

Prachulachomklao Naval Dockyard, The Royal Thai Naval Dockyard

121 Moo 5 Tumbol Laem Pha-Pha, Amphur Phrasamutjadee, Samutprakan 10290

บทคัดย่อ

สำหรับบางคนแล้วงานซ่อมทำตัวเรืออาจจะดูเหมือนว่าเกี่ยวข้องเพียงแค่การตัดแผ่นเหล็กและเชื่อมโลหะเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาและประสบการณ์แสดงให้เห็นว่า การซ่อมทำ

Abstract

It *may seem that ship hull repair would be just a simple task of plate cutting and metal welding. However, various studies and work experiences have shown that it*

สามารถทำให้เกิดผลกระทบกับงานระบบอื่นๆ ในเรือ ไม่ว่าจะเป็น ระบบขับเคลื่อน ระบบเพลา ใบจักร หรือชุดเกียร์ เป็นต้น และยังสามารถก่อให้เกิดอุปสรรคต่อประสิทธิภาพการทำงานของเรือ ทั้งลำได้อีกด้วย เอกสารฉบับนี้เป็นการนำเอาความรู้บางอย่างจากสาขาวิศวกรรมต่อเรือ และเครื่องกลเรือที่บางครั้งยังไม่เป็นที่คุ้นเคยนักสำหรับคนทั่วไปมาแสดงให้เห็นถึงสิ่งที่อาจเกิดขึ้นหากไม่คำนึงถึงผลกระทบที่อาจตามมาจากวิธีการซ่อมทำที่ตัดสินใจเลือกใช้ ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่า ความเข้าใจในหลักวิชาการเป็นอย่างดีสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งกับผู้ซ่อมและเจ้าของเรือในด้านคุณภาพและความเชื่อถือได้ของงาน นอกจากนั้นยังสามารถช่วยลดการเสี่ยงต่อความเสียหายกับระบบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นตามมาภายหลังอันเนื่องจากความไม่รอบคอบในการปฏิบัติงาน รวมทั้งยังช่วยหลีกเลี่ยงการโต้แย้งที่เป็นผลมาจากความเสียหายดังกล่าวได้ด้วย

can cause many problems to the other systems onboard a ship, such as the main propulsion system, shafting system, reduction gear etc., as well as hindering the overall performance of a ship. This paper is an attempt to bring the knowledge gained from naval architecture and marine engineering discipline to explain what might happen if some effects of the chosen method for hull repair work have not been taken into considerations. It will be seen that a good understanding of such a discipline could lead to the benefits for both ship repairer and ship owner in term of repair quality and reliability. In addition, it can help to reduce the risk of system damages arisen later on from a reckless work practice and to avoid any unnecessary argument in the aftermath.

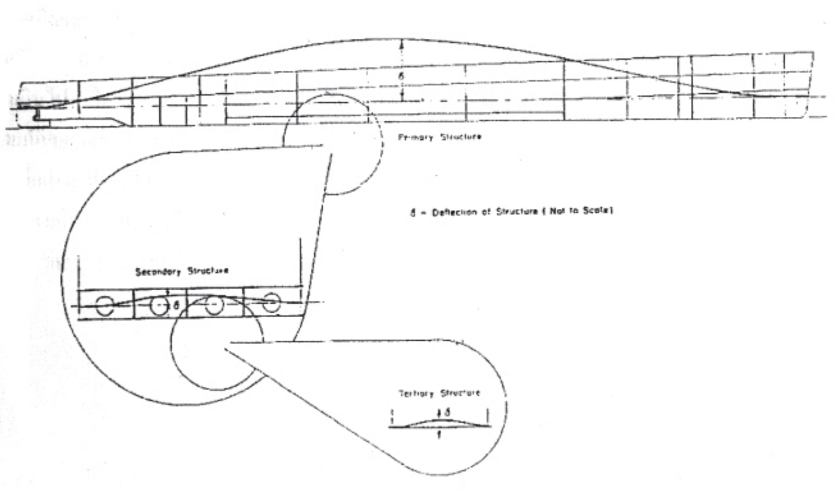
บทนำ

การสร้างและซ่อมทำเรือจัดเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมหลักในกิจการพาณิชยนาวี สำหรับประเทศไทยแล้วงานส่วนใหญ่ที่ดำเนินการในอู่เรือจะเป็นด้านของการซ่อมทำเรือเหล็กเสียมากกว่าการสร้างเรือใหม่ ไม่ว่าจะเป็นเรือรบ เรือของภาครัฐ หรือเรือสินค้าทั่วไป งานหลักที่รับดำเนินการสามารถแบ่งออกได้เป็น ด้านตัวเรือ ด้านกลจักร และด้านไฟฟ้า ในส่วนของการซ่อมทำตัวเรือนั้นเป็นที่ทราบกันดีว่าเกี่ยวข้องกับส่วนที่เป็นแผ่นเหล็กและโครงสร้างบนเรือ เมื่อมองผิวเผินอาจดูเหมือนว่าเป็นงานที่ไม่น่าจะมีความยุ่งยากซับซ้อนหรือเกี่ยวข้องกับหลักการมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับงานด้านกลจักรหรือด้านไฟฟ้า วิธีการซ่อมทำโดยปกติก็จะประกอบด้วย 3 วิธีหลัก กล่าวคือ การตัดเปลี่ยนแผ่นเหล็กทั้งแผ่น การตัดบรรจุเฉพาะที่ และการปะทับลงไปบนแผ่นเหล็กเดิม เทคนิคที่ใช้ก็น่าที่จะเกี่ยวข้องกับการแล่นประสานเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นเมื่อเกิดปัญหาในการซ่อมทำ การพิจารณาหาหนทางแก้ไขและกำหนดขอบเขตของงานก็มักขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านเวลาและการเงินเป็นสำคัญ จากเหตุผลดังกล่าว บ่อยครั้งในการซ่อมทำเรือที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบัน ความถูกต้องตามหลักวิศวกรรมที่ดีและผลกระทบที่อาจเกิดมาจากงานระบบตัวเรือจึงถูกมองข้ามไป จนต่อมาภายหลังก่อให้เกิดเป็นปัญหาขึ้นกับระบบงานอื่นรวมทั้งเป็นผลเสียต่อขีดความสามารถของเรือลำนั้นไปตลอดชีวิตการใช้งาน

สาขาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือเป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับการนำความรู้จากสาขาวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็น โยธา เครื่องกล ไฟฟ้า เคมี หรือแม้แต่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปสู่การคิดค้น พัฒนา การนำทรัพยากรที่มีมาใช้และออกแบบระบบการขนส่งที่สามารถปฏิบัติการได้ดีในน้ำ [1] ซึ่งมีความแตกต่างจากสาขาทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่มากทีเดียวเนื่องจากธรรมชาติของเรือและภาวะแวดล้อมที่ต้องประสบอันยากที่จะคาดเดา ความรู้จากสาขานี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านของการออกแบบหรืองานสร้างเรือใหม่อย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามกับงานซ่อมทำก็ใช่ว่ามันจะด้อยความสำคัญลงไป ทั้งนี้เพราะความจำเป็นที่ต้องใช้ความรู้ประกอบการตัดสินใจทำหรือเปลี่ยนแปลงบางสิ่งบางอย่างบนเรือรวมถึงอิทธิพลที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งอื่นที่เกี่ยวข้อง เอกสารฉบับนี้จึงเป็นความพยายามที่จะนำเอาความรู้และหลักการของสาขาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือมาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์และผลกระทบที่มีต่อกันและกันระหว่างงานซ่อมทำตัวเรือกับงานระบบอื่นโดยสังเขป ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดเป็นข้อคิดและทางเลือกสำหรับใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจทำงานซ่อมทำระบบตัวเรือในทางปฏิบัติที่สมเหตุสมผลต่อไป

ความแข็งแรงของโครงสร้างตัวเรือ

ความแข็งแรงของตัวเรือ (Hull Strength) ในภาพรวมเกิดขึ้นมาได้จากโครงสร้างทั้งส่วนที่ถูกจัดวางไว้ตามความยาวและตามขวางของลำตัวเรือซึ่งประกอบกันขึ้นมามีลักษณะคล้ายบีมรูปกล่อง (Box Girder) ถึงแม้ว่าพฤติกรรมของบีมที่ว่านี้จะมีความคล้ายคลึงกับบีมทั่วไป แต่ก็มีความแตกต่างกันอยู่ไม่น้อยทีเดียวทั้งนี้ก็มีสาเหตุมาจากการที่มีของไหลหรือน้ำที่มีการเคลื่อนที่ในแบบที่ไม่อาจคาดเดาได้ (Random Sea) เป็นจุดรองรับแรงแทนที่จะเป็นสิ่งที่อยู่นิ่งไม่มีการเคลื่อนที่นั่นเอง สำหรับรายละเอียดส่วนประกอบโครงสร้างภายในของบีมรูปกล่องจะเป็นระบบแบบใด มีกงตามยาวหรือกงตามขวางมากกว่ากัน รวมทั้งขนาดของกง ควรเป็นอย่างไรนั้นเป็นหน้าที่ของวิศวกรต่อเรือที่จะเป็นผู้กำหนดขึ้นเพื่อให้ตัวเรือมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงกระทำที่เกิดจากการบรรทุกและจากสภาพแวดล้อมที่เรือต้องเผชิญ โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งประเภทของเรือตามการจัดวางโครงสร้างออกได้เป็น 3 ระบบได้แก่ ระบบกงตามขวาง (Transverse Framing) ระบบกงตามยาว (Longitudinal Framing) และระบบกงผสม (Combination Framing) ซึ่งเป็นการใช้ทั้งระบบกงตามยาวร่วมกับระบบกงตามขวางบนเรือลำเดียวกันโดยพิจารณาจากตำแหน่งของการรับแรง



รูปที่ 1 โครงสร้างตามยาว 3 ประเภท

ถ้าหากพิจารณาถึงการเสียรูปทรงของลำตัวเรือแล้วจะพบว่าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการด้วยกันคือ แรงที่มากระทำและความมั่นคงของโครงสร้าง (Rigidity of Structure) ในแนวระนาบเดียวกับแรง [2] ดังนั้นเพื่อให้วิศวกรสามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างตามความยาวเรือได้อย่างถี่ถ้วนและครอบคลุมจึงต้องแบ่งประเภทของโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วน ตามปัจจัยหลักทั้งสองประการที่กล่าวมาดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยโครงสร้างส่วนแรกเรียกว่า *"โครงสร้างหลัก"* (Primary Structure) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กเปลือกเรือทั้งลำตลอดจนกงตามยาวใหญ่ (Girder) หรือกงตามยาวเล็ก (Longitudinal) ที่มีระยะทอดยาวตั้งแต่ 1/4 ของความยาวเรือขึ้นไป พูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ เป็นการพิจารณาความแข็งแรงรวมโดยคิดว่าเรือทั้งลำเป็นเสมือนบีมอันหนึ่ง ส่วนที่สองเรียกว่า *"โครงสร้างรอง"* (Secondary Structure) เป็นส่วนของโครงสร้างที่อยู่ระหว่างฝากั้นผนึกน้ำอันหนึ่ง (Watertight Bulkhead) กับฝากั้นผนึกน้ำอีกอันหนึ่ง ระหว่างฝากั้นผนึกน้ำกับกงตามขวางหลัก (Web Frame) หรือระหว่างกงตามขวางหลักกับกงตามขวางหลัก โครงสร้างส่วนสุดท้ายที่ต้องพิจารณาเรียกว่า *"โครงสร้างย่อย"* (Tertiary Structure) เป็นส่วนของแผ่นเหล็กเปลือกเรือที่อยู่ระหว่างกงหรือฝากั้นที่ไม่มีการเสริมกำลังใดเลย (Unstiffened Panel) แรงเค้น (Stress) ที่มีอยู่ในโครงสร้างแต่ละส่วนที่กล่าวมาก็มีชื่อซึ่งรู้จักมักคุ้นกันดีว่า Primary Stress (σ_1) Secondary Stress (σ_2) และ Tertiary Stress (σ_3) ตามลำดับ เมื่อใดก็ตามแต่ที่ค่าแรงเค้นเหล่านี้มีค่าเกินกว่าที่โครงสร้างสามารถรับได้แล้ว การเสียรูปทรงของตัวเรือก็จะปรากฏขึ้นมาให้เห็น ตัวอย่างเช่น ถ้าค่า σ_1 มีค่ามากเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ลำตัวเรือจะเกิดการโก่งหรือแอ่นตัวถาวร และในที่สุดอาจเกิดการแตกหักได้ ถ้า σ_2 มีค่ามากเกินก็อาจส่งผลให้แผ่นเหล็กและโครงสร้างตัวเรือในช่วงระหว่างฝากั้นรองรับแรง (ปกติก็คือฝากั้นผนึกน้ำนั่นเอง) หรือระหว่างกงตามขวางหลักเกิดอาการผิดรูปไปจากลำตัวส่วนอื่นของเรือ และในกรณีท้ายสุดหากว่า σ_3 มีค่ามากเกินไป ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตามการยุบตัวเป็นแอ่งของแผ่นเหล็กเปลือกเรือก็จะปรากฏออกมาให้เห็น ทางแก้ก็คือใส่กงตามขวางย่อย (Normal Frame) ลงไปช่วยลดขนาดช่วงความยาวของแผ่นเหล็กลง จากทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า ในทางวิศวกรรมแล้วการที่จะบอกว่าเรือมีความแข็งแรงเพียงพอนั้นจะต้องทำให้ค่าแรงเค้นทั้งสามมีค่าต่ำกว่าหรือตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปมักถูกกำหนดขึ้นจากประสบการณ์ที่สะสมมา

และวัสดุที่นำมาใช้ดังตัวอย่างเช่น [2]

$$\begin{aligned} &\sigma_1 \leq 23{,}900\ psi \\ &\sigma_1 + \sigma_2 \leq 26{,}000\ psi \qquad (1) \\ &\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \leq 33{,}000\ psi \end{aligned}$$

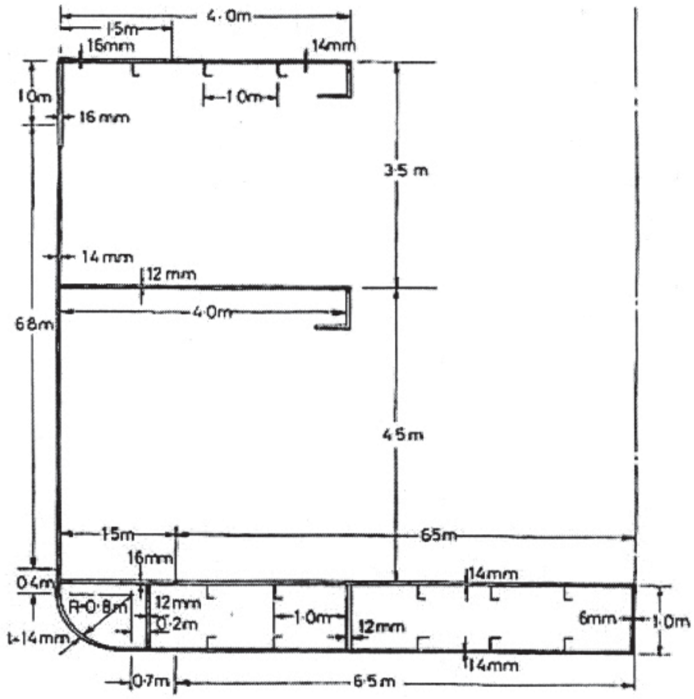
การออกแบบโครงสร้างสามารถทำได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีหรือ Finite Element Analysis บ่อยครั้งที่มีความเข้าใจกันไปว่า การออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรงนั้นควรจะต้องเป็นไปตามกฎของสมาคมจัดมาตรฐานเรือ (Classification Society) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายแห่ง แต่โดยความเป็นจริงแล้วสูตรการคำนวณหาค่าขนาดของโครงสร้างต่าง ๆ ของสมาคมเหล่านี้ได้มาจากข้อมูลที่รวบรวมมาจากเรือที่สร้างขึ้นมาแล้วเห็นว่าใช้งานได้ดีก็นำมาจัดทำเป็นสูตรขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวกในการตรวจสอบเรือใช้งานเชิงพาณิชย์ก่อนการเอาประกันภัย บางสูตรไม่มีรากฐานมาจากการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมเลย การนำคำว่า *"กฎ"* มาใช้จึงไม่ถูกต้องนัก (ควรใช้คำว่า *"Rule of Thumb"* เสียมากกว่า) ด้วยเหตุนี้เองการนำสูตรต่าง ๆ มาใช้งานจะต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากสูตรที่บัญญัติขึ้นมิได้คำนึงถึงสภาพการใช้งานทั้งหมดที่เรือเฉพาะลำอาจต้องเผชิญ ยิ่งไปกว่านั้นภาระทางพลศาสตร์ของเรือในภารกิจต่าง ๆ (Dynamic Loads) ก็มิได้ถูกนำมาพิจารณาไว้ด้วย [3] เช่น ในเรือ Landing Craft Utility ซึ่งมีภารกิจที่จะต้องเกยหาดที่เป็นกรวดหินแต่นำเอา *"กฎ"* ของเรือข้ามฟากมาใช้ออกแบบ หรือนำ *"กฎ"* ของเรือความเร็วสูงมาใช้ออกแบบเรือเร็วติดปืน หรือจรวดโดยปราศจากการคำนึงถึง Dynamic Loads ที่เกิดขึ้นจากการใช้อาวุธหรือสภาพการใช้งานในระดับ Sea State ที่ต่างกันอย่างนี้ถือว่าไม่สมควร ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า ความรู้ทางวิศวกรรมต่อเรือยังมีความสำคัญอยู่มากในการออกแบบและการซ่อมทำเรือถึงแม้ว่าจะมี *"กฎ"* ให้เป็นแนวทางในกรณีที่ไม่สามารถหาข้อมูลที่ดีกว่าได้ก็ตาม

ในกรณีของงานซ่อมทำตัวเรือมักจะเข้าไปเกี่ยวข้องกับส่วนโครงสร้างหลักเสียเป็นส่วนใหญ่ จึงขอมุ่งความสนใจไปที่ส่วนนี้เป็นหลัก สมมติว่าเรือที่เข้ารับการซ่อมทำนั้นมีการจัดวางและออกแบบโครงสร้างหลักมาให้มีความแข็งแรงอย่างเหมาะสมดีแล้ว กล่าวคือแรงเค้น σ_1 มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด ($\sigma_{allowable}$) โดยที่การคำนวณหาค่าแรงเค้นสูงสุดบนโครงสร้างหลักที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของเรือสามารถทำได้จากสูตร

$$\sigma_1 = \frac{M}{SM} \qquad (2)$$

$$SM = \frac{I}{z}$$

เมื่อ	*M*	=	*ค่าโมเมนต์แอ่นตัวที่กระทำกับตัวเรือจากน้ำหนักบรรทุกและคลื่น*
	SM	=	*ค่า Section Modulus*
	I	=	*ค่าโมเมนต์แรงเฉื่อยของหน้าตัด ดูการคำนวณได้จากรูปที่ 2 [3]*
	z	=	*ระยะห่างสูงสุดระหว่างเส้นแกนกลาง (Neutral Axis) ไปถึงแผ่นเหล็กท้องเรือ หรือดาดฟ้าเรือ*



Section Modulus Calculation

Item	Scantlings m × mm	Area $a(m^2)$	Height $h(m)$	Moment ah	2nd Moment ah^2	Local 2nd Moment $i(m^4)$
Strength Deck Plating	2.5 × 14	0.0350	9.0	0.3150	2.835	
S.D. stringer plate	1.5 × 16	0.0240	9.0	0.2160	1.944	
S.D. longitudinals (mm)	W160 × 14; F40 × 14	0.0084	8.9	0.0748	0.666	
Sheer strake	1.0 × 16	0.0160	8.5	0.1360	1.156	0.001
Side plating	7.2 × 14	0.1008	4.4	0.4435	1.951	0.435
2nd deck plating	4.0 × 12	0.0480	5.5	0.2640	1.452	
Bilge (curved portion)	$R = 0.8$; $t = 14$	0.0176	0.29	0.0051	0.001	0.001
Inner Bottom plating	6.5 × 14	0.0910	1.0	0.0910	0.091	
I.B. margin plate	1.5 × 16	0.0240	1.0	0.0240	0.024	
I.B. longitudinals (mm)	W200 × 10; F66 × 15	0.0150	0.86	0.0129	0.011	
Side girders	1.0 × 12	0.0240	0.5	0.0120	0.006	0.002
Center girder (½)	1.0 × 6	0.0060	0.5	0.0030	0.001	0.001
Bottom plating	7.2 × 14	0.1008	0	0	0	
Bottom longitudinals (mm)	W200 × 10; F66 × 15	0.0150	0.14	0.0021	0.000	
Upper hatch side girder	W0.5 × 25; F0.4 × 25	0.0225	8.64	0.1944	1.680	
Lower hatch side girder	W0.5 × 25; F0.4 × 25	0.0225	5.14	0.1157	0.595	
Totals (for half section)		0.5706		1.9095	12.413	0.440

Height of neutral axis: $h_{NA} = \dfrac{\Sigma a_i h_i}{\Sigma a_i} = \dfrac{1.9095}{0.5706} = 3.346$ m

$\frac{1}{2}I_{yy} = 12.413 + 0.440 \qquad = 12.853\ m^4$

Parallel axis term $= -(\Sigma a_i)h_{NA}^2 \qquad = \underline{-6.390\ m^4}$

$\frac{1}{2}I = 6.463\ m^4$

Full values: $A = 1.142\ m^2$

$I = 12.93\ m^4$

$$Z_D = \frac{I}{h_D - h_{NA}} = \frac{12.93}{9.000 - 3.346} = 2.287\ m^3$$

$$Z_K = \frac{I}{h_{NA}} = \frac{12.93}{3.346} = 3.864\ m^3$$

การคำนวณหาค่า Section Modulus

รูปที่ 2

จากรูปที่ 2 สามารถสังเกตเห็นได้ว่า ขนาดของแผ่นเหล็กและโครงสร้างกงตามยาวทุกตัวมีส่วนในการเสริมสร้างความแข็งแรงตามยาวโดยผ่านทางค่า I และ z ทั้งสิ้น ดังนั้นการผุกร่อนหรือความเสียหายใดก็ตามที่ทำให้ขนาดของแผ่นเหล็กและกงตามยาวลดลงย่อมส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของเรือโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่อยู่บริเวณท้องเรือและดาดฟ้า ความรู้ที่ได้นี้ทำให้ผู้ซ่อมเรือสามารถกำหนดความเร่งด่วนและตัดสินใจเลือกแนวทางการซ่อมทำได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ตัวอย่างเช่น

- หากกงตามยาวใหญ่บริเวณท้องเรือหรือดาดฟ้าผุกร่อนมากย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อความแข็งแรงตามยาวมาก (ค่า σ_I จะลดลงมาก) เมื่อเทียบกับกงตามยาวเล็กจึงสมควรที่จะต้องตัดเปลี่ยนให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือถึงแม้ว่าจะเป็นกงขนาดเล็กก็ตามแต่ถ้ามีจำนวนหลายแห่งที่เกิดการชำรุดบริเวณเดียวกันก็ควรต้องรีบทำการตัดเปลี่ยนเช่นกัน เพราะไม่เช่นนั้นแล้วโครงสร้างอาจเกิดการบิดเบี้ยวได้โดยเฉพาะในบริเวณใกล้กับกลางลำที่ต้องรับแรงกระทำในระดับที่สูง

- ถ้าแผ่นเหล็กเปลือกเรือเกิดทะลุเป็นรูเพียงเล็กน้อยก็อาจเลือกใช้การปะทับจุดนั้นได้ แต่หากรอยผุกินบริเวณกว้างส่งผลให้แผ่นเหล็กบางลงไปกว่าเดิมมากก็ต้องทำการตัดเปลี่ยนหรือตัดบรรจุเสียดีกว่าการปะทับ เนื่องจากเหล็กปะทับไม่ได้อยู่ในแนวกระทำของแรง เชื่อมเกาะอยู่เฉพาะขอบแผ่นและมีระยะที่สั้นจึงไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะช่วยเสริมค่า SM หรือสร้างความแข็งแรงได้ดีเท่ากับแผ่นเหล็กในแนวกระทำแรง โดยความเป็นจริงแล้วการปะทับจึงเป็นการอุดรอยรั่วไม่ให้น้ำเข้าเรือเสียมากกว่า

- ในทางปฏิบัติยังมีความเข้าใจกันว่าการซ่อมทำแผ่นเหล็กและโครงสร้างตัวเรือใต้แนวน้ำสำคัญกว่าส่วนที่อยู่เหนือแนวน้ำและดาดฟ้ามากจึงต้องมีการตรวจสอบกันอย่างเคร่งครัด เช่น X-Ray หรือ Ultrasonic Test เป็นต้น ทั้งที่ตามความจริงความพิถีพิถันในการซ่อมทำส่วนเหนือแนวน้ำที่ประกอบขึ้นเป็นวงแหวน (Transverse Ring) ตลอดหน้าตัดก็มิได้มีความสำคัญในด้านความแข็งแรงของตัวเรือยิ่งหย่อนไปกว่าเลยเนื่องจากมันมีอิทธิพลกับค่า SM ในลักษณะเช่นเดียวกันกับส่วนใต้แนวน้ำ หรือบางครั้งอาจมีมากกว่าด้วยซ้ำไปเมื่อมีสิ่งของบรรทุกอยู่บนดาดฟ้า จะมีข้อแตกต่างก็เพียงแต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นไม่ทำให้น้ำเข้าสู่ภายในเรือเท่านั้นเอง

- เมื่อมีความจำเป็นต้องตัดเปลือกเรือด้านข้าง (Side Shell) จะด้วยเหตุผลใดก็ตาม บริเวณที่เหมาะสม ควรเป็นส่วนที่อยู่ใกล้แนวเส้น Neutral Axis มากที่สุดเพราะเป็นจุดที่มีค่า z น้อยที่สุด ทำให้มีค่าแรงเค้นเกิดขึ้นน้อยที่สุดด้วย ข้อบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ในการซ่อมทำจึงไม่ส่งผลกระทบกับความแข็งแรงของเรือมากนัก

- การนำเอากงตามยาวหรือแผ่นเหล็กขนาดเล็กกว่ามาใส่แทนของเดิมจะส่งให้ความแข็งแรงของโครงสร้างลดลงทันที ยิ่งอยู่ใกล้บริเวณกลางลำมากเท่าใดก็จะเป็นอันตรายกับตัวเรือมากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ยังมิได้รวมถึงจุดรวมของแรงเค้น (Stress Concentration) ตรงจุดต่อของโครงสร้างที่ขนาดต่างกันซึ่งไม่เป็นที่ปรารถนาอยู่ก่อนแล้ว

- ฝากั้นกันน้ำที่ออกแบบมาให้รับแรงกระทำนั้นในแง่ของการวิเคราะห์โครงสร้างของเรือแล้วอาจไม่ส่งผลกับความเป็นความตายของเรือทั้งลำโดยตรง บางครั้งการปะทับฝากั้นจึงเป็นทางเลือกที่สามารถเลือกปฏิบัติได้โดยไม่ส่งผลกระทบกับโครงสร้างตามยาวมากนัก แต่ฝากั้นกันน้ำก็ถือว่ามีความสำคัญไม่น้อยเลยทีเดียว เพราะฝากั้นนี้สามารถรับแรงได้ทั้งในทางดิ่งและทางแนวนอน การชำรุดที่เกิดขึ้นตรงส่วนนี้อาจทำให้แผ่นเหล็กท้องเรือและดาดฟ้าเกิดการเสียรูปได้

สำหรับในส่วนของโครงสร้างตามขวางของเรือโดยเฉพาะกงตามขวางหลัก (Web Frame)

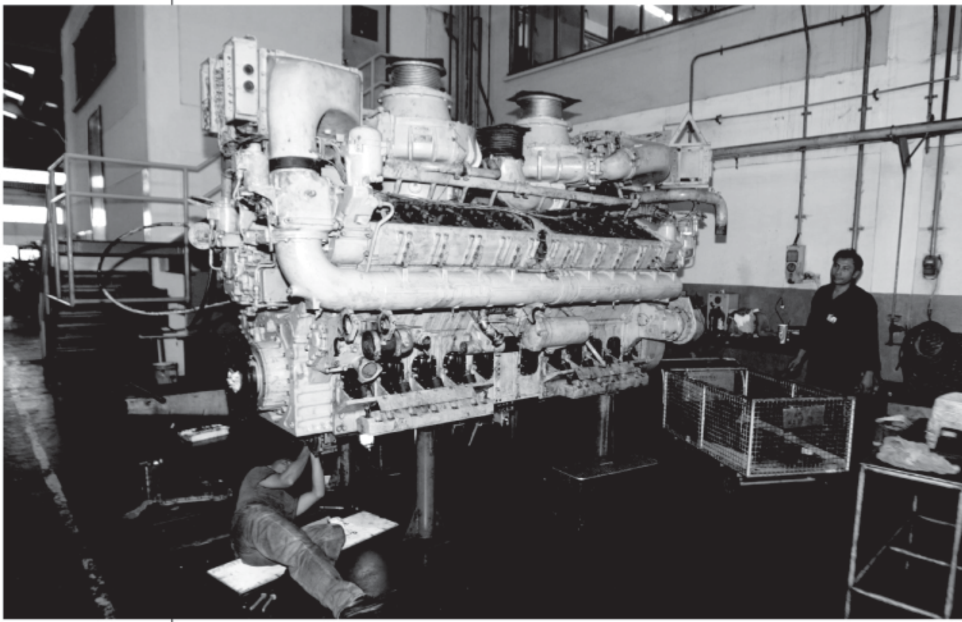
นั้นก็สามารถนำเอาหลักการจากสมการ (2) มาใช้ได้ ทั้งนี้ก็เพราะในการวิเคราะห์กงตามขวางหลักสามารถจำลองแบบของกงที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นวงโค้งให้อยู่ในรูปของบีมที่มีจุดรับแรง (Support) หลายจุดหรือที่รู้จักกันในชื่อของ Statically Indeterminant Beam ได้ ถึงแม้ว่าอาจเกิดความยุ่งยากในการหาค่าแรงกระทำที่เกิดตรงจุดรับแรงรวมทั้งโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในบีมซึ่งอาจต้องใช้วิธีพิเศษอยู่บ้าง [4] แต่ขั้นตอนการตรวจสอบความแข็งแรงก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับของโครงสร้างตามยาวหลัก เริ่มจากการหาค่าแรงเค้นที่เกิดขึ้นบนกงตามขวางหลักจากลักษณะของหน้าตัดที่โดยทั่วไปจะเป็นรูปตัว T หรือ L แล้วนำไปเทียบกับค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นการตัดเปลี่ยนกงตามขวางต้องให้มีขนาดเท่ากับของเดิมและไม่ควรให้มีการตัดต่อบริเวณที่เป็นจุดรองรับแรงของ Statically Indeterminant Beam ได้แก่ จุดกึ่งกลางเรือ จุดโค้งท้องเรือ (Bilge) เส้นแนวน้ำ จุดตัดระหว่างฝากั้นทั้งตามยาวและตามขวางกับแผ่นเหล็กเปลือกเรือ และจุดต่อระหว่างเปลือกเรือด้านข้างกับดาดฟ้าเรือ

ระบบขับเคลื่อนของเรือ

ระบบขับเคลื่อนของเรือประกอบด้วยเครื่องจักรใหญ่ (คจญ.) เกียร์ เพลาและแบริ่ง ไปจนถึงใบจักร ซึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อนเรือให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ด้วยเหตุที่ในประเทศไทยมีการใช้ระบบขับเคลื่อนที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซล และใบจักรแบบ Fixed Pitch เป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับความต้องการอ้างถึงความเกี่ยวพันที่มีกับงานระบบตัวเรือเสียมากกว่า จึงจะขอนำเอาหัวข้อของเครื่องยนต์ดีเซล เพลา และใบจักรแบบดังกล่าวมาพูดถึงเป็นการเฉพาะ

ก. เครื่องจักรใหญ่แบบดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลที่มีใช้อยู่ในตลาดปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายชนิด เป็นเครื่องที่ใช้งานง่ายและมีความเชื่อถือได้สูง กำลังที่เครื่องสามารถให้ออกมาเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วรอบและ Torque (ขึ้นอยู่กับ % Throttling) วิศวกรเครื่องกลเรือมักไม่ค่อยให้ความสนใจการทำงานภายในของเครื่องมากนัก แต่จะให้ความสำคัญกับการเลือกสรร



เครื่องที่เหมาะสมมาติดตั้งพร้อมเกียร์และใบจักรเพื่อให้เรือสามารถปฏิบัติงานตอบสนองต่อความต้องการของภารกิจและสิ่งแวดล้อมที่ถูกกำหนดขึ้นในการนำเรือไปใช้งานของเจ้าของเรือได้ โดยมีประเด็นที่สำคัญที่ควรใส่ใจดังนี้

1. การเลือกเครื่องยนต์สำหรับเรือลำหนึ่งโดยปกติขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น กำลังของเครื่อง ความเร็วรอบ ขนาดและน้ำหนัก ราคาเครื่องน้ำมันที่เครื่องใช้ การกินน้ำมัน และการบำรุงรักษา เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถหาได้จากผู้ผลิตเครื่องโดยที่ผู้ผลิตเป็นคนสร้างเครื่องขึ้นมาเพื่อจำหน่ายและจะอ้างถึงตัวเลขกำลังที่เครื่องสามารถสร้างขึ้นได้จากห้องทดสอบ แต่เมื่อนำมาใช้งานที่มีจุดมุ่งหมายเฉพาะแล้ว จะแน่ใจได้อย่างไรว่าจะเป็นไป

ตามตัวเลขที่ผู้ผลิตบอกมา ดังนั้นผู้ออกแบบระบบขับเคลื่อนจึงเป็นผู้รับผิดชอบในการที่จะเลือกเครื่องให้สามารถใช้ได้กับงานเฉพาะอย่างถูกต้องและเหมาะสมอย่างแท้จริง ด้วยเหตุนี้การเรตกำลังเครื่องหรือ *"Engine Rating"* โดยผู้ออกแบบเองจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ก็เพราะ [5]

ก. กำลังที่เครื่องสามารถสร้างออกมาได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบขณะใช้งานจริง ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศเข้าเครื่อง อุณหภูมิของแก๊สเสียที่ออกจากเครื่อง ความหนาแน่นของอากาศและอุณหภูมิของน้ำหล่อเครื่อง เป็นต้น

ข. ตัวเลขที่ผู้ผลิตให้มาอาจมิได้รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องจักรช่วยที่ติดตั้งในเรือจริงขณะใช้งาน เช่น ปั๊ม ความสูญเสียที่ช่องทางดูดและช่องระบายแก๊สเสีย ชุดเกียร์ ระบบระงับเสียง

ค. การใช้งานเครื่องต้องคำนึงถึงการบำรุงรักษาเครื่องควบคู่กันไป การบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับภาระที่เครื่องได้รับ ถ้าเลือกใช้งานที่จุดสูงสุดของเครื่องมากก็ต้องรักษามาก ดังนั้นผู้ใช้อาจต้องการใช้งานเครื่องที่จุดอื่นนอกจากจุดที่ผู้ผลิตให้มาก็ได้ตามหลักปฏิบัติโดยทั่วไปเมื่อผู้ผลิตให้ค่ากำลังของเครื่องที่ความเร็วรอบใดมาก็ตาม จะต้องกำหนดสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลองจนได้ผลที่บอกมาด้วย เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เป็นไปตามนั้นในขณะที่เครื่องถูกนำไปติดตั้งใช้งานบนเรือ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบระบบขับเคลื่อนจะต้องทำการปรับลด (Derating) กำลังของเครื่องตามไปด้วยโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ผลิตที่ต้องจัดหามาให้หรือไม่ก็ใช้ข้อมูลสำหรับปรับแก้ตามสถาบันที่เชื่อถือได้แนะนำมาให้ เช่น [5, 6]

- ลดกำลังเครื่องลง 10% สำหรับทุก ๆ 4 นิ้วของปรอทของความดันโดยรอบที่ลดลง

- ลดกำลังเครื่องลง 2.5% สำหรับทุก ๆ 10 F ของอุณหภูมิของอากาศโดยรอบที่เพิ่มขึ้น

- ลดกำลังเครื่องลง 1% สำหรับทุก ๆ 10% ของความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น

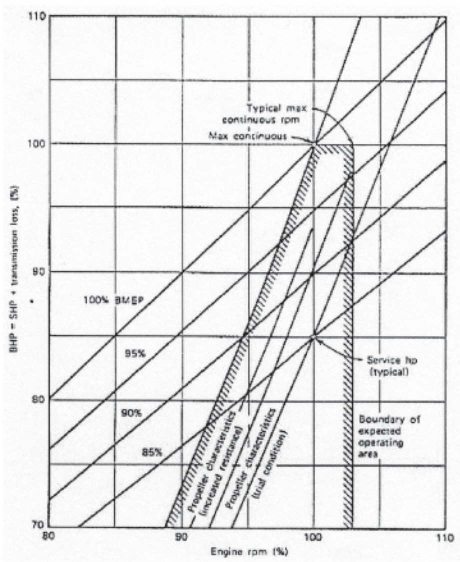
- สำหรับเครื่องที่ใช้ Intercooler ลดกำลังเครื่องลง 2% สำหรับทุก ๆ 10% ของอุณหภูมิน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น

- ลดกำลังเครื่องลง 1% สำหรับทุก ๆ 4 นิ้วของน้ำของความดันย้อนกลับ (Exhaust Back Pressure) ของเครื่องที่เพิ่มขึ้น

- สำหรับอัตราการกินน้ำมันของเครื่องเองก็จำเป็นที่จะต้องปรับแต่งเช่นกัน เช่น ให้เพิ่มอัตราการกินน้ำมันขึ้น 1/3 % สำหรับทุกๆ 1% ที่ลดกำลังของเครื่องลง

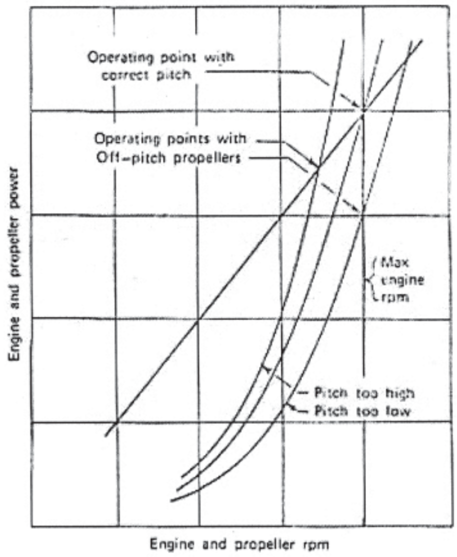
2. ปรกติกำลังของเครื่องที่ผู้ผลิตแนะนำจะเป็นค่า Maximum Continuous Rating (MCR) แต่เมื่อคำนึงถึงเรื่องการสึกหรอ ค่าบำรุงรักษา และความต้องการหลีกเลี่ยงการให้เครื่องทำงานหนักเกินไป ตลอดจนภาระบรรทุกที่อาจเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตแล้วจะพบว่า การซื้อเครื่องขนาดใหญ่มาติดตั้งในเรือแล้วใช้งานเบาจะดีกว่าซื้อเครื่องขนาดเล็กราคาถูกแล้วใช้งานหักโหมจนกระทั่งต้องเสียค่าบำรุงรักษามากมายมหาศาลรวมทั้งอายุการใช้งานของเครื่องก็สั้น [7] ดังนั้นทุกสำนักและตำรา [5,8,9,10,11,12] จึงมีหลักนิยมในทางปฏิบัติให้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการขับเคลื่อนเรือที่ความเร็วออกแบบโดยใช้กำลังที่ต่ำกว่า MCR แทน โดยทั่วไปจะใช้ค่าประมาณ 80-90% ของ MCR (หรือ 10-20% Margin) ดังจะเห็นได้จากจุดที่เขียนว่า *"Service HP"* ในรูปที่ 3 ซึ่งประเด็นนี้นับว่าเป็นที่ถกเถียงกันพอสมควรเนื่องจากยังขึ้นอยู่กับความเชื่อที่แตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากผลการศึกษา[13] พบว่า *"กองทัพเรือสหรัฐที่จะกำหนดความเร็วออกแบบของเรือโดยใช้เครื่องที่มี 25% Margin ที่ Full Load Displacement เผื่อไว้สำหรับความสกปรกท้องเรือ ลม และสภาพท้องทะเลขณะมีคลื่น ในขณะที่โดยทั่วไปกองทัพเรือของประเทศในยุโรปที่สังกัด NATO จะใช้เครื่องที่มีกำลังพอดีไม่มี Margin เลย เพื่อให้เรือสามารถทำความเร็วที่ Mean Trial Displacement (บรรทุกภาระส่วนที่หมด*

เปลืองเพียงบางส่วนเท่านั้น) ระหว่างทำ Sea Trial ได้ ดังนั้นเรือของประเทศทางยุโรปอาจทำความเร็วขณะทำ Sea Trial ได้ 30 kt แต่เมื่อใช้งานจริงความเร็วจะลดลงเหลือเพียง 28.5 kt เท่านั้นเอง” ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า เรือของกองทัพเรือสหรัฐจะสามารถแล่นที่ความเร็วออกแบบที่ต้องการได้เกือบตลอดเวลาแม้ว่าภาระบรรทุกหรือความต้านทานเรือจะถูกเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตก็ตาม เนื่องจากเส้นภาระของเรือยังสามารถขยับสูงขึ้นไปหาจุดทำงานใหม่ที่บริเวณ MCR ได้อีกตามที่แสดงให้เห็นในรูป (เส้น *“Increased Resistance”*)

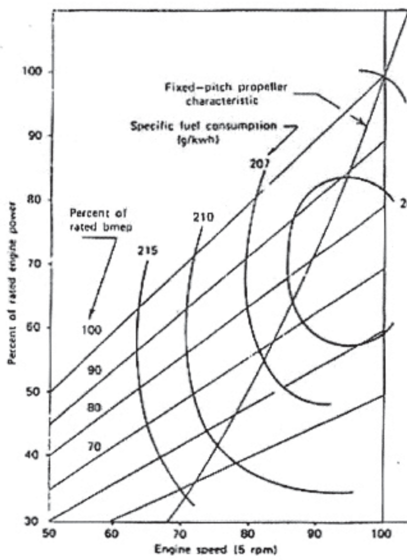


รูปที่ 3 ค่าเผื่อ (Margin) ในการเลือกจุดเหมาะสมระหว่างเครื่องดีเซลกับใบจักร

3. การออกแบบระบบขับเคลื่อนให้สามารถผลิตกำลังออกมาสู่ใบจักรเพื่อผลักดันเรือให้มีความเร็วที่กำหนดได้นั้น จะต้องพิจารณาเครื่องยนต์พร้อมกันกับใบจักรในเวลาเดียวกัน เพราะเมื่อติดตั้งร่วมกันบนเรือแล้วเครื่องจะสร้างกำลังได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของใบจักรด้วย การกำหนดค่า Pitch ที่ไม่เหมาะสมจะเป็นเหตุให้เครื่องไม่สามารถผลิตกำลังได้ตามที่มันมีขีดความสามารถที่จะทำได้ตามที่เห็นในรูปที่ 4 ดังคำพูดที่ว่า *“Pitch the propeller to let the engine develop its rating.”* [5,8] ดังนั้นการนำเครื่องที่มีกำลังมากมายมหาศาลมาติดตั้งแทนเครื่องยนต์เดิมบนเรือลำหนึ่งโดยใช้ใบจักรใบเดิมหรือใบที่ไม่เหมาะสมใช่ว่าจะสามารถทำให้เรือมีความเร็วมากกว่าเดิมเสมอไป

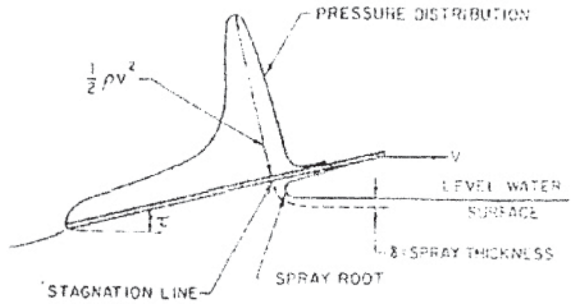


รูปที่ 4 ผลกระทบของค่า Pitch ของใบจักรต่อกำลังที่เครื่องสามารถสร้างขึ้นได้



รูปที่ 5 กราฟแสดงอัตราการกินน้ำมันโดยทั่วไปของเครื่องดีเซล

ผลกระทบที่เกิดจากการตัดสินใจเลือกแนวทางการซ่อมทำแผ่นเหล็กและโครงสร้างตัวเรือสามารถที่จะส่งผลกระทบกับสภาพการซ่อมทำและอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม สมมติว่าระบบขับเคลื่อนของเรือลำหนึ่งถูกออกแบบมาตามความเชื่อแบบยุโรปโดยขาดการพิจารณาถึงการเรตเครื่องที่รอบคอบหรือมิได้เผื่อค่า Margin ไว้สำหรับภาระที่อาจเพิ่มขึ้นหลังการทำ Sea Trial เครื่องยนต์อาจต้องทำงานหนักอยู่ก่อนหน้านี้แล้ว เนื่องจากถูกนำมาใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ต่างไปจากผู้ผลิตให้มา ยิ่งเมื่อผู้ซ่อมทำเลือกหนทางที่ทำให้น้ำหนักของเรือเพิ่มมากขึ้นอีก เช่น การปะทับจำนวนมาก หรือเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่หนักกว่าเดิมมากลงติดตั้ง ก็จะเป็นผลให้เส้นภาระของเรือขยับไปทางซ้ายมือตามที่แสดงในรูปที่ 3 เครื่องจึงผลิตกำลังได้น้อยกว่าเดิมด้วยเหตุที่ไม่สามารถทำความเร็วรอบขึ้นไปได้ ความเร็วเรือก็จะลดลงและมีการกินน้ำมันที่มากขึ้นตามที่เห็นในรูปที่5 เครื่องอาจเกิดการสึกหรอมากขึ้นจากการที่ใช้รอบเครื่องต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเวลานานเพราะเครื่องยนต์ดีเซลถูกออกแบบมาให้ทำงานที่รอบคงที่ นอกจากนั้นหากผู้ใช้เรือนำเรือออกไปปฏิบัติงานแล้วพยายามที่จะเปลี่ยนรอบของเครื่องให้มากขึ้นเพื่อหวังจะเพิ่มความเร็วเรือให้ใกล้เคียงกับของเดิม เครื่องยนต์ก็จะเกิดการ Overload เมื่อเวลาผ่านไปก็จะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องหรือ MTBO สั้นลงและมีโอกาสพังได้ ยิ่งไปกว่านั้นในเรือประเภทเรือเผินน้ำ (Planing Boat) หรือกึ่งเผินน้ำ (Semi-Planing Boat) ที่มักใช้เป็นเรือความเร็วสูงหรือเรือตรวจการณ์ในปัจจุบัน เป็นเรือที่อาศัยหลักการทางพลศาสตร์ของน้ำในการยกท้องเรือให้สูงขึ้นในรูปที่ 6 ส่งผลให้ความต้านทานเรือลดลงลักษณะเช่นเดียวกับปีกเครื่องบิน ความไหลลื่นของอนุภาคของน้ำใต้ท้องเรือถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง ตำแหน่งและการวางตัวของแผ่นเหล็กปะทับ รวมทั้งทริมเรือทำให้ทิศทางการไหลและความไหลลื่นสูญเสียไปย่อมส่งผลต่อความเร็วของเรือมากกว่าที่มีต่อเรือผิวน้ำทั่วไป ในกรณีที่ผู้ใช้นำเรือไปใช้งานแล้วยังมีทัศนะเกี่ยวกับความเร็วเรือเช่นเดิม และพยายามทำการเพิ่มรอบในแบบที่ได้กล่าวไปแล้วก็จะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสมควรหลีกเลี่ยงการซ่อมทำแบบนี้เสียถ้าสามารถทำได้

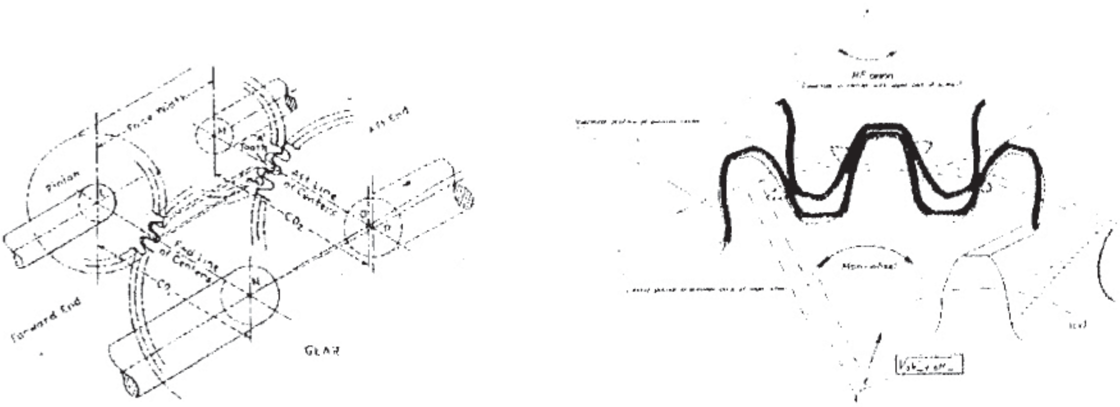


รูปที่ 6 ลักษณะการไหลของน้ำใต้แผ่นเรียบ (Planing Surface) ที่กำลังเคลื่อนที่

ข. ระบบเพลาใบจักร

การที่เพลาใบจักรของเรือมีขนาดยาวและตั้งอยู่บนฐานที่มีความยืดหยุ่นค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับเพลาของเครื่องจักรที่ใช้งานบนบก การติดตั้งเพลาและแบริ่งรองรับเพลาลงบนเรือจึงต้องได้รับการดูแลเป็นอย่างดี โดยความเป็นจริงแล้วการติดตั้งเพลาใบจักรประกอบด้วยขั้นตอนการกำหนดแนวเพลาขึ้นมาก่อนแล้วจึงดำเนินการนำเอาเพลาไปวางให้ได้ตามแนวที่คำนวณหามาได้นั้น ในอดีตที่ผ่านมามักนิยมกำหนดแนวเพลาให้เป็นเส้นตรงในขณะที่เพลายังไม่มีการหมุนหรือ Cold Condition ต่อมาพบว่าเมื่อเวลาที่ระบบขับเคลื่อนทำงานและเพลาเกิดการหมุนที่เรียกว่า Hot Condition เพลาจะไม่อยู่ในแนวเส้นตรงอีกต่อไป เนื่องจากการยกตัวจากแรงไฮโดรไดนามิกส์และการขยายตัวจากความร้อนของแบริ่ง ทำให้แรงกระทำที่เกิดขึ้นบนแบริ่งแต่ละตัวแตกต่างกัน

ค่อนข้างมาก ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่แบริ่งทั้งที่อยู่นอกและในตัวเรือ การสั่นสะเทือนสูงขึ้น ความเค้นในเพลาสูงมีระดับสูงขึ้นจนสามารถทำให้เพลาแตกหักได้ อย่างไรก็ตามสิ่งที่น่าเป็นห่วงมากที่สุดก็คือ การไม่ขนานกันของแกนของเพลาเกียร์และ Pinion จะนำไปสู่ความเสียหายกับชุดเกียร์ [15] เนื่องมาจากอาการขบที่ไม่สม่ำเสมอกันของฟันเกียร์และ Pinion ตามที่แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ไดอะแกรมแสดงผลของการไม่ขนานกันของแกนเพลา

ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการศึกษาจนเป็นที่ยอมรับกันว่า การกำหนดแนวเพลาออกมาตามทฤษฎีเส้นโค้งมนเรียบ (Fair Curve Alignment Theory) จะช่วยให้สามารถหาแนวเพลาที่ดีที่สุดออกมาได้ [16] นั่นคือ ทำให้เกิดการกระจายของแรงกระทำบนแบริ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจรวมทั้งความเครียดที่เกิดขึ้นก็อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ภายใต้สภาวะการใช้งานทุกรูปแบบโดยปกติเกณฑ์ที่ว่านั่นก็คือแรงกระทำบนแบริ่งที่อยู่ด้านหัวและท้ายของชุดเกียร์ในขณะ Hot Condition จะต้องมีค่าไม่แตกต่างกันมากเกินกว่าค่าที่ผู้ผลิตเกียร์กำหนดหรือเป็นค่าที่ยอมรับกันแล้วว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับฟันเกียร์ ดังตัวอย่างเช่น ค่าของ Panel M-16-1 [17] ที่กำหนดให้ความแตกต่างไม่เกิน ± 20% ของน้ำหนัก Bull Gear รวมทั้งเพลาเกียร์ในขณะ Hot Condition ทุกวันนี้ในเรือที่มีชุดเกียร์รวมอยู่ในระบบขับเคลื่อนด้วยมักจะต้องมีการคำนวณเพื่อกำหนดค่าแนวเพลาที่เหมาะสมออกมาเพื่อใช้สำหรับติดตั้งเพลาจริงในอู่ต่อเรือ [18] ค่าที่คำนวณได้อาจอยู่ในรูปของระยะห่างจากเส้นอ้างอิง (Offset) ซึ่งกำหนดขึ้นมาได้จากวิธีการขึงลวดหรือวิธีอื่น หรืออาจอยู่ในรูปของแรงที่กระทำบนแบริ่งแต่ละตัว รวมทั้งสามารถเปลี่ยนให้เป็นค่า Gap และ Sag ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่จะใช้ติดตั้งเพลา

Brg. No.	1	2	3	4	5	6	7
	Fwd gear	Aft gear	1st line sh	2nd line sh	Stern tb brg	Fwd strut brg	Aft strut brg
Reaction Loads With all Bearings in Straight Line							
	6,841	26,022	15,771	28,563	39,324	33,501	85,093

Brg. No.	Bearing-Reaction Influence Numbers (lb per 0.001 in. bearing rise)						
1	1781	−2309	594	− 73	10	− 2	0.5
2	−2309	3543	−876	135	−18	4	−0.9
3	594	− 876	303	−116	23	− 5	1
4	− 73	135	−116	72	−26	9	− 2
5	10	− 18	23	− 26	21	−11	3
6	− 2	4	− 5	9	−11	11	− 6
7	0.5	− 0.9	1	− 2	3	− 6	3

รูปที่ 8 การจัดวางแบริ่งของเพลาใบจักรบนเรือรบแบบ 2 ใบจักร

การคำนวณหาค่าแนวเพลาที่ต้องการเริ่มต้นด้วยการหาตารางตัวเลขแสดงอิทธิพลของแรงโต้ตอบของแบริ่งแต่ละตัว (Reaction Influence Number หรือ RIN) ออกมาให้ได้เสียก่อน โดยที่ค่าต่าง ๆ ที่อยู่ในตารางสามารถหามาได้จากคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ขนาดเพลาและช่วงระยะห่างระหว่างแบริ่ง ดังตัวอย่างในรูปที่ 8 ซึ่งค่าตัวเลขในตารางสามารถบ่งบอกถึงสาระสำคัญพอสังเขปได้ดังนี้

ก. ค่าตัวเลขในแถวนอนที่ n (n = 1,2,...,7) หมายถึงค่าแรงกระทำที่เปลี่ยนไปของแบริ่งแต่ละตัวเมื่อยกแบริ่งตัวที่ n ให้สูงขึ้น 0.001 in

ข. การที่เครื่องหมายของ RIN มีค่าสลับกัน ทำให้การยกตัวของแบริ่งตัวหนึ่งสูงขึ้นไป 0.001 in ส่งผลให้แรงกระทำบนแบริ่งแต่ละตัวมีขนาดมากขึ้นหรือลดลงสลับกันไป เช่น ถ้ายกแบริ่งตัวที่ 1 สูงขึ้น 0.001 in แบริ่งตัวที่ 1 มีแรงกระทำมากขึ้นจากเดิม 1781 lbs แบริ่งตัวที่ 2 มีแรงกระทำลดลงจากเดิม 2309 lbs แบริ่งตัวที่ 3 มีแรงกระทำมากขึ้นจากเดิม 594 lbs แบริ่งตัวอื่น ๆ ก็เปลี่ยนแปลงไปในทำนองเดียวกัน

ค. เครื่องหมายของตัวเลข RIN จะมีค่าตรงกันข้ามกับค่าที่แสดงไว้ในตารางถ้าแบริ่งถูกกดให้ต่ำลง

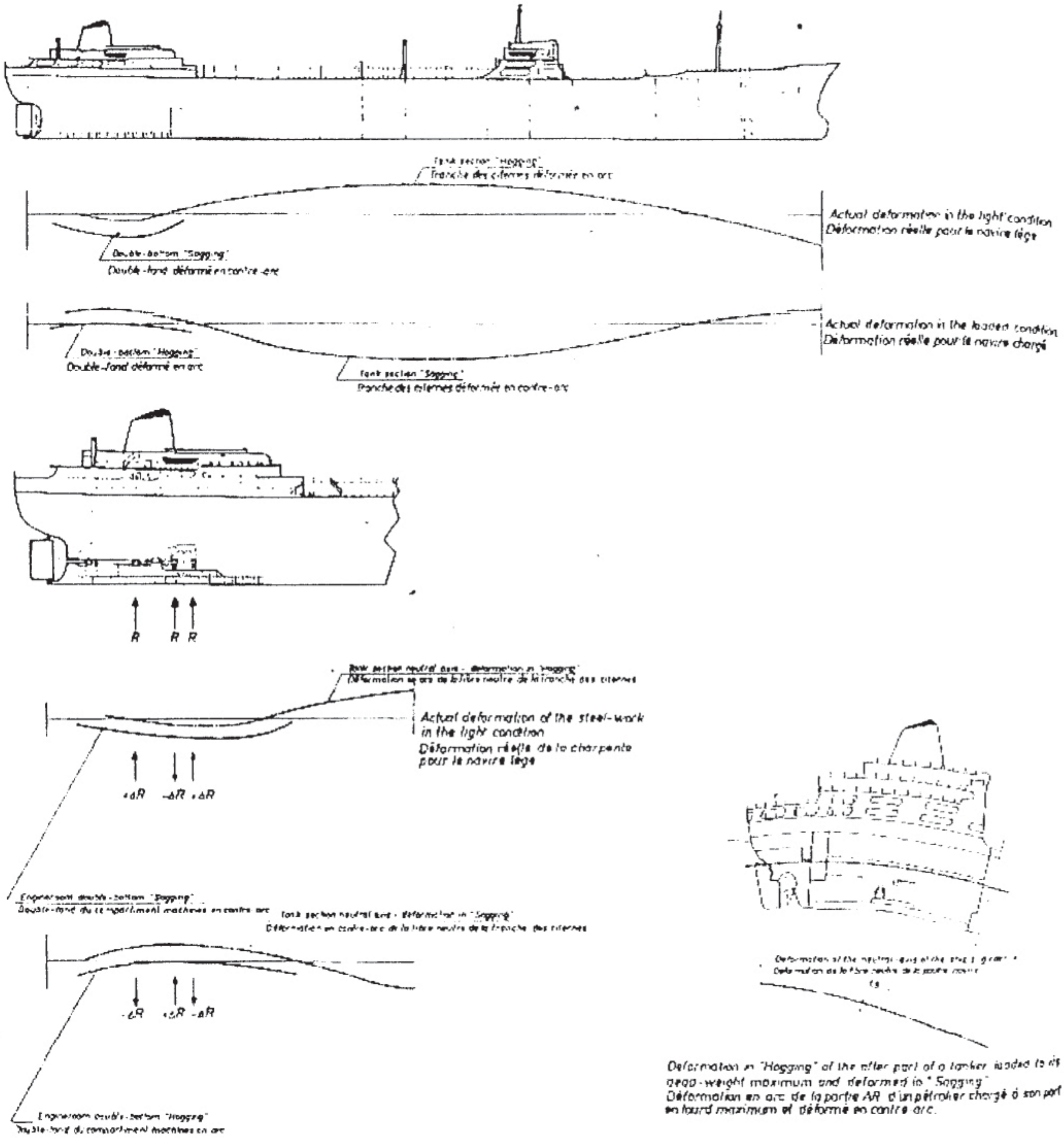
ง. ตารางข้างบนนี้สามารถนำไปใช้คำนวณกำหนดศูนย์เพลาได้ทั้งแนวระดับและแนวดิ่ง

จากการสังเกตจะเห็นว่า ค่า RIN ของแบริ่งหัวและท้ายของ Bull Gear (ตัวที่ 1 และ 2) มีค่าที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตัวอื่น จึงทำให้มีปฏิกิริยาที่ว่องไวตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงของระยะทางดิ่งในขณะใช้งานเพียงเล็กน้อยจะกระทบกับความแตกต่างของแรงกระทำที่แบริ่งของเกียร์ได้ค่อนข้างมาก ด้วยเหตุนี้เองจึงถูกนำมาเป็นใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจกำหนดค่าแนวเพลาทั้งเส้น

Column No.	1 Cold	2 Hot (A)*	3 Hot (B)*	4 Hot (C)*	5 Cold	6 Hot (B)*	7 Cold	8 Hot (C)*
Bearing	no. 1 down 0.034 in. no. 2 down 0.034 in.	no. 1 down 0.015 in. no. 2 down 0.015 in.	no. 1 down 0.010 in. no. 2 down 0.010 in.	no. 1 down 0.004 in. no. 2 down 0.004 in.	no. 1 down 0.034 in. no. 2 down 0.034 in. no. 3 up 0.005 in.	no. 1 down 0.010 in. no. 2 down 0.010 in. no. 3 up 0.005 in.	no. 1 down 0.034 in. no. 2 down 0.034 in. no. 3 up 0.010 in.	no. 1 down 0.004 in. no. 2 down 0.004 in. no. 3 down 0.010 in.
No. 1 Fwd bull gear brg.	24793	14761	12121	8953	27763	15091	30733	14893
No. 2 Aft bull gear brg.	1066	16012	18682	23090	− 3214	14402	− 7404	14590
No. 3 First line-shaft brg.	24070	19701	18391	16819	26479	20191	28279	20119
No. 4 Second line-shaft brg.	26455	27633	27943	28315	25875	27363	25205	[illegible]

ตารางที่ 1

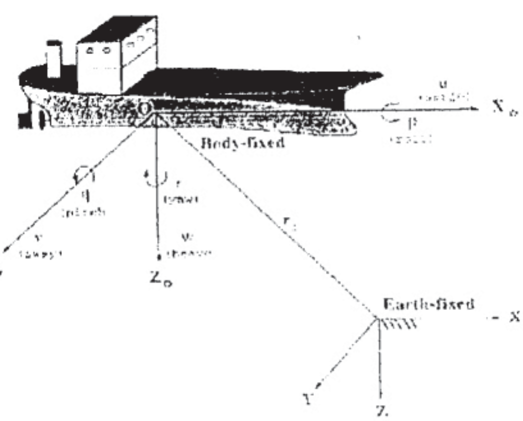
ตารางที่ 1 เป็นการแสดงตัวอย่างให้เห็นถึงวิธีการเลือกระยะห่างจากเส้นอ้างอิงของแบริ่งแต่ละตัวสำหรับใช้ในการติดตั้งจริง ในแนวตั้งที่ 1 เป็นสภาพของแรงกระทำบนแบริ่งแต่ละตัวในขณะที่ยังไม่ได้ใช้งานโดยที่แบริ่งตัวที่ 1 และ 2 ถูกวางให้ต่ำลงจากเส้นอ้างอิงไว้ 0.034 in ก่อนแล้ว สมมติจากการทดสอบพบว่าแบริ่งของเกียร์ด้านหัวและท้ายในขณะใช้งานจะยกตัวสูงขึ้น 0.030 in เนื่องจากการขยายตัวจากความร้อนของชุดเกียร์ ทำให้แรงกระทำบนแบริ่งแต่ละตัวมีค่าเป็นไปตามแถวตั้งที่ 4 ซึ่งถือว่าไม่เป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่งเพราะมีความแตกต่างของแรงที่ด้านหัวและท้ายของ Bull Gear มากเกินไป การปรับแต่งสามารถทำได้โดยการยกแบริ่งตัวที่ 3 เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวเป็นระยะ 0.010 in ในขณะที่ยังไม่ได้ใช้งานแรงกระทำบนแบริ่งที่เกิดขึ้นสามารถดูได้จากแถวตั้งที่ 7 เมื่อเพลาทำงานค่าแรงกระทำจะเป็นไปตามที่เห็นในแถวตั้งที่ 8 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับที่ดี ดังนั้นการนำเพลาจริงไปติดตั้งบนเรือก็ควรทำให้ได้แนวตามตัวเลขที่ได้มาในแถวที่ 7 กล่าวคือ ลดแบริ่งด้านหัวและท้ายของ Bull Gear ต่ำลงไป 0.034 in และยกแบริ่งตัวที่ 3 ขึ้นมา 0.010 in จากเส้นอ้างอิง



รูปที่ 9 อิทธิพลจากการเสียรูปทรงของโครงสร้างตัวเรือเนื่องจากการบรรทุกน้ำหนักที่มีต่อแรงกระทำบนแบริ่งของชุดเกียร์

ในระหว่างที่ทำการตัดเปลี่ยนแผ่นเหล็กตัวเรือ ถ้าขาดความระมัดระวังหรือจัดขั้นตอนการทำงานอย่างหละหลวมแล้ว ความร้อนจากการตัดและเชื่อมแผ่นเหล็กอาจจะทำให้แผ่นเหล็กหดตัวลงจนเป็นเหตุให้เกิดการแอ่นตัวบนผิวตัวเรือหรือเกิดเสียศูนย์ของอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ เช่น ยงโย่ หรือกระบอกดีฟุต ขึ้นมาได้ นอกจากนั้นการเชื่อมต่อกันของกงตัวใหม่ที่ไม่ได้ขนาดก็สามารถทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของโครงสร้างได้เช่นกัน หากสิ่งที่กล่าวมานี้ซึ่งไม่ใช่เรื่องที่ไม่เคยเกิดขึ้นเลยในงานซ่อมทำตัวเรือไปส่งผลกระทบจนทำให้กับแนวเพลาเดิมที่ถูกต้องเสียไปแล้ว ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเพลา คัปปลิ้ง แบริ่งทั้งที่เป็นยางและโลหะ และโดยเฉพาะกับชุดเกียร์ก็มีความเป็นไปได้สูงมากในเวลาที่ไม่ช้าก็เร็ว [19] เพราะจากอดีตที่ผ่านมาพบกันบ่อยครั้งว่า เพียงแค่การเปลี่ยนแปลงการบรรทุกสินค้าในเรือสินค้าเป็นผลให้ลักษณะการแอ่นตัวของเรือเปลี่ยนไปก็ทำให้ชุดเกียร์ชำรุดได้แล้ว [20] ตามตัวอย่างในรูปที่ 9 ยิ่งไปกว่านั้นการรื้อถอนและประกอบอุปกรณ์ในระหว่างการซ่อมทำทั้งที่ทำในอู่แห้ง และในน้ำหากไม่จัดขั้นตอนการทำงานให้รัดกุมก็อาจจะส่งผลให้การติดตั้งศูนย์เพลาผิดได้อีกเช่นกัน ทั้งหมดที่กล่าวมา ณ ที่นี้ยังไม่ได้รวมถึงการเสียศูนย์ของฐานแท่นเครื่องจักรใหญ่ และฐานแท่นของชุดเกียร์ที่อาจเกิดจากการซ่อมทำที่ขาดช่างฝีมือ และการควบคุมดูแลงานที่ดีเลย

การเคลื่อนที่ของเรือ



รูปที่ 10 ระบบพิกัดและมิติการเคลื่อนที่ของเรือ

ก. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเรือ

เป็นที่ทราบกันดีว่า เรือสามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 มิติดังที่เห็นในรูปที่ 10 การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเรือสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน [21] คือ ความเสถียรในระหว่างการเคลื่อนที่ (Motion Stability) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่โดยปราศจากแรงกระทำจากภายนอกทั้งที่มาจากคลื่นในทะเลและการเปลี่ยนมุมของส่วนสร้างแรงบังคับ (Control Surface) เช่น

หางเสือ ครีบกันโคลง หรือ Flap ในกรณีของไฮโดรฟอยล์ เป็นต้น ส่วนการควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control) นั้นเกี่ยวข้องกับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเรือจากแรงกระทำที่ถูกสร้างขึ้นมาจากส่วนสร้างแรงบังคับ ทั้งที่บังคับด้วยมือและการใช้ระบบอัตโนมัติ หัวข้อแรกเป็นการศึกษาเพื่อให้ทราบว่าเรือที่ออกแบบหรือกำลังจะถูกสร้างขึ้นมามีความเสถียรโดยธรรมชาติในตัวมันเองในขณะที่แล่นไปในทะเลหรือไม่ ซึ่งจะแตกต่างไปจากความเสถียรในขณะที่เรือลอยอยู่นิ่งหรือที่รู้จักกันว่า Static Stability มากนัก ถ้าเรือลำนั้นขาดความเสถียร หรือไม่เป็นที่น่าพอใจก็ย่อมเป็นการยากที่จะบังคับให้มีพฤติกรรมตามที่ผู้ออกแบบตั้งใจเอาไว้ หัวข้อที่สองจึงเป็นหนทางนำไปสู่การแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว

พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเรือที่อยู่ในน้ำนั้นก็หนีไม่พ้นกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน สมมติให้จุดกำเนิดของระบบพิกัด (Axis System) ที่ยึดติดกับเรืออยู่ที่ศูนย์กลางมวลของเรือหรือจุด CG และเมื่อพิจารณาถึงแรงกระทำที่มีกับเรือก็จะสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่เชิงเส้นออกมาได้ว่า

$$\overline{F} = m\,\frac{d\overline{U}}{dt} = m\,\frac{d\,(u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k})}{dt} \qquad (3)$$

เมื่อ m = *มวลของเรือทั้งลำ*

$\overline{U} = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$ = *เวกเตอร์ของความเร็วเรือ*

ด้วยเหตุที่ระบบพิกัดหมุนไปกับเรือในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยจึงส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์เกี่ยวโยงข้ามกัน (Cross Coupling) ระหว่างตัวแปรในมิติต่างๆ เมื่อทำการแยกสมการ (3) ออกมาในรูปสมการสเกล่าร์ก็จะได้สมการการเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวแกน x, y และ z ดังนี้

$$X = m(\dot{u} + qw - rv) \qquad \text{“Surge”} \qquad (4)$$

$$Y = m(\dot{v} + ru - pw) \qquad \text{“Sway”} \qquad (5)$$

$$Z = m(\dot{w} + pv - qu) \qquad \text{“Heave”} \qquad (6)$$

เมื่อ $\frac{d\phi}{dt} = p, \frac{d\theta}{dt} = q, \frac{d\psi}{dt} = r$

ค่า X, Y, Z เป็นค่าแรงกระทำจากภายนอกทั้งหมดตามแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ ค่า ϕ, θ, ψ ก็เป็นค่ามุม Roll Angle, Pitch Angle และ Yaw Angle ของเรือตามลำดับเช่นกัน นอกเหนือจากสมการการเคลื่อนที่เชิงเส้นทั้งสามนี้แล้วยังจะต้องหันมาพิจารณาสมการการเคลื่อนที่เชิงมุมด้วย โดยที่ความเร็วเชิงมุมของเรือมีค่าเท่ากับ $\bar{\omega} = p\hat{i} + q\hat{j} = r\hat{k}$ และถ้าหากสมมติให้ระบบพิกัดที่เลือกใช้เป็นระบบที่เรียกว่า Principal Axes of Inertia ที่ผ่านจุด CG ด้วยแล้ว ก็จะช่วยให้สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่เชิงมุมของเรือออกมาในรูปแบบที่ง่ายขึ้นนั่นคือ

$$K = I_X\dot{p} + (I_Z - I_Y)qr \quad \text{“Roll”} \tag{7}$$

$$M = I_Y\dot{q} + (I_X - I_Z)rp \quad \text{“Pitch”} \tag{8}$$

$$N = I_Z\dot{r} + (I_Y - I_X)pq \quad \text{“Yaw”} \tag{9}$$

ค่า K,M,N เป็นค่าโมเมนต์จากภายนอกทั้งหมดที่กระทำรอบแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ ส่วน I_X, I_Y, I_Z ก็เป็นค่าโมเมนต์แรงเฉื่อยรอบแนวแกน x, y และ z ประเด็นที่สำคัญก็คือ สมการ (4) - (9) เป็นที่รู้จักกันดีในหมู่วิศวกรต่อเรือและเครื่องกลเรือในนาม *“Euler Equations of Motion”* ของเรือ แต่มีลักษณะความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน (Non-linear Equations) โดยเฉพาะทางด้านซ้ายมือของสมการที่มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของเรือ การเคลื่อนที่ของเรือ และลักษณะการไหลของน้ำดังนั้นเพื่อให้การนำมาใช้งานในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่เป็นไปโดยสะดวกจึงต้องดำเนินการเปลี่ยนสมการทั้งหมดให้ออกมาในรูปแบบที่เป็นเชิงเส้นแต่ยังคงสาระสำคัญในสภาพที่เรือใช้งานจริงเอาไว้ได้ด้วยการอาศัย Taylor Series Expansion มาช่วย ตลอดจนกำจัดเทอมที่มีออเดอร์สูงออกไป ในกรณีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเรือผิวน้ำโดยทั่วไปมิติสำคัญที่เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ Sway และ Yaw (บางครั้งอาจรวม Surge เข้ามาด้วย) ซึ่งสามารถเขียนออกมาในแบบเชิงเส้นได้ตามลำดับดังนี้

$$(Y_{\dot{v}}-m)\dot{v}+Y_v v+(Y_{\dot{v}}-mx_G)\dot{r} + (Y_r-mu_O)r+Y_\delta\delta = 0 \tag{10}$$

$$(N_{\dot{v}}-mx_G)\dot{v}+N_v v+(N_{\dot{r}}-I_Z)\dot{r}+(N_r-mx_G u_O)r+N_\delta\delta = 0 \tag{11}$$

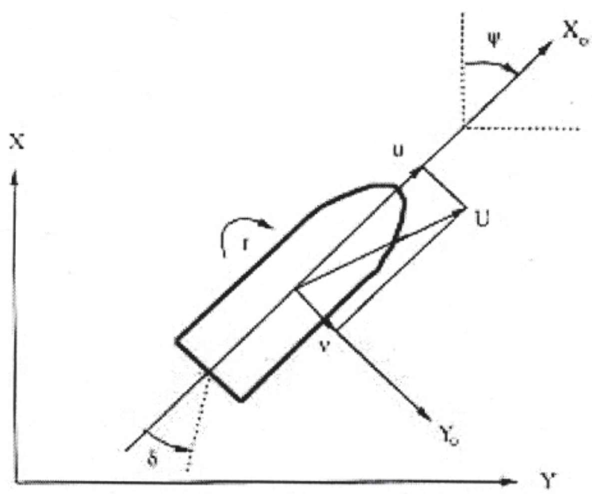
เมื่อ u_o = *ความเร็วเดินทางของเรือที่สมมติให้เป็นค่าคงที่*

δ = *ค่ามุมของหางเสือที่ทำกับเส้นกึ่งกลางลำเรือ*

สัมประสิทธิ์ที่อยู่หน้าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการข้างบนมีชื่อว่า *“Hydrodynamic Derivatives”* หรือ *“Stability Derivatives”* สามารถหาค่าได้ทั้งจากการคำนวณและจากการทดลอง [11,12] เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงขนาดของแรงหรือโมเมนต์ที่จะถูกสร้างขึ้น หากตัวแปรที่อยู่ในรูปของตัวห้อยเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ 1 หน่วย ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จะมีค่าคงที่สำหรับระวางขับน้ำและความเร็วเรือค่าหนึ่ง ถ้าระวางขับน้ำเปลี่ยนไปลักษณะรูปร่างทางเรขาคณิตของเรือและอุปกรณ์ที่อยู่ใต้น้ำก็จะแตกต่างออกไปจากเดิมทำให้ค่าดังกล่าวเปลี่ยนตามไปด้วย จากการสังเกตในสมการยังสามารถเห็นได้อีกว่า ค่า $X_{\dot{u}}, Y_{\dot{v}}$ และ $N_{\dot{r}}$ (มีค่าเป็นลบ) ถูกนำมาบวกเข้ากับมวลและโมเมนต์แรงเฉื่อยของเรือ สองเทอมแรกรู้จักกันในนามของ Added Mass และเทอมสุดท้ายเรียกว่า Added Inertia ผลของเทอมเหล่านี้เป็นเสมือนการทำให้ค่ามวลและโมเมนต์แรงเฉื่อยของเรือเพิ่มมากขึ้นในขณะเคลื่อนที่อยู่ในน้ำ

ตามปกติในการศึกษาการควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือหรือ Ship Maneuvering ที่หมายถึง ความสามารถในการควบคุมเรือเพื่อให้เปลี่ยนหรือรักษาทิศทางการเคลื่อนที่ตามที่ถูกสั่งการได้นั้น มักนิยมที่จะนำสมการ (10) และ (11) มาใช้ร่วมกัน เรียกว่า Steering Equations ส่วนการเคลื่อนที่ในมิติของ Roll ที่ก่อให้เกิดอาการโคลงขึ้นในเรือนั้นอาจถูกแยกไปพิจารณาต่างหากหรือไม่ก็นำมาพิจารณาร่วมกับสมการดังกล่าวก็ได้ ในปี ค.ศ. 1957 Nomoto และเพื่อนชาวญี่ปุ่น [23] ได้นำเสนอทางเลือกสำหรับจำลองการเคลื่อนที่ของเรือผิวน้ำโดยการกำจัดค่า v (Sway Velocity) ออกจากสมการ (10) ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่หัวเรือทำกับทิศทางการเคลื่อนที่ (Yaw Angle) กับมุมหางเสือ (ตามที่แสดงในรูปที่ 11) ออกมาเป็น

$$T_1T_2\dddot{\psi}+(T_1+T_2)\ddot{\psi}+\dot{\psi}=K(\delta+T_3\dot{\delta}) \qquad (12)$$



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม Yaw กับมุมหางเสือ

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Transfer Function ได้เป็น

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)}=\frac{K(1+T_3s)}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} \qquad (13)$$

เรียกว่า *"Nomoto's 2nd Order Model"* สมการนี้สามารถที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนเพื่อแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในระหว่างการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเรือจริงได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยที่ K, T_1, T_2 และ T_3 ก็เป็นค่าที่คำนวณมาจากค่าของ Hydrodynamic Derivatives ในสมการ (10) และ (11) นั่นเอง ยิ่งไปกว่านั้นแล้วสำหรับในย่านที่ความถี่ต่ำ ๆ ยังสามารถเขียนสมการ (13) ได้ออกมาอีกแบบหนึ่งด้วยคือ

$$T\ddot{\psi}+\dot{\psi}=K\delta \qquad (14)$$

หรือ

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)} = \frac{K}{s(1+Ts)} \qquad (15)$$

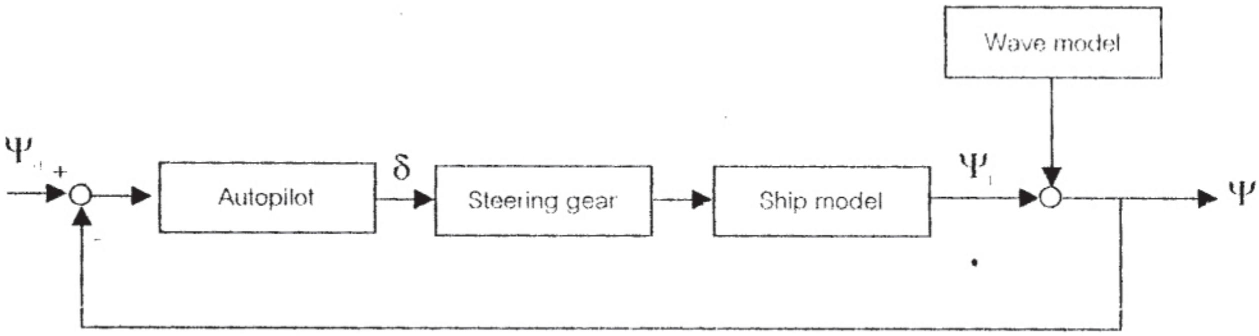
เมื่อ T มีค่าเท่ากับ $T_1+T_2-T_3$ ซึ่งในช่วงของการทดลองเรือในทะเลหรือ Sea Trial จะมีขั้นตอนมาตรฐานในการเลี้ยวเรือเป็นรูปวงกลมรวมทั้งการแล่นเรือแบบหยักฟันปลา (Zig-Zag Maneuver Test) จุดประสงค์อย่างหนึ่งก็เพื่อนำมาพลอตกราฟแล้วใช้ยืนยันหรือประมาณหาค่า K และ T ในสมการ (14) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของเรือแต่ละลำนี้นี่เอง

ความรู้จากสมการ (12) - (14) สามารถบอกถึงพฤติกรรมเรือได้หลายอย่าง ตัวอย่างเช่น ถ้าเรือแล่นไปในแนวตรงแล้วเกิดสิ่งรบกวนจากภายนอกมาทำให้เรือเปลี่ยนเส้นทางไป กรณีที่ค่า T ของเรือลำนั้นเป็นบวกแล้วก็จะพบว่า เรือลำนั้นสามารถกลับคืนสู่แนวเส้นตรงตามเข็มใหม่ได้เรียกว่า มีความเสถียรในแนวเส้นตรง (Straight Line Stability) ถึงแม้ว่าจะไม่ขนานกับแนวเข็มเก่าก็ตาม แต่ถ้า T เป็นค่าลบเรือจะไม่แล่นในแนวเส้นตรงอีกต่อไป เป็นต้น เรื่องนี้นับว่ามีความสำคัญมากเนื่องจากปัจจุบันมีการสร้างเรือขนาดใหญ่มีความซับซ้อนมากขึ้นทุกวันและมักไม่ค่อยมีความเสถียร ความสามารถในการที่จะทำนายลักษณะการเคลื่อนที่ของเรือในระหว่างออกแบบและสร้างเรือจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง [24] หากพบว่าธรรมชาติของเรือเองไม่มีความเสถียรหรือมีพฤติกรรมที่ไม่น่าพอใจก็จะได้พิจารณาหาทางแก้ไขตั้งแต่เนิ่น ๆ เช่น จัดหาระบบควบคุมอัตโนมัติที่เหมาะสมมาติดตั้งเพื่อควบคุมทิศทางเรือ หรือถ้าพบว่าอาการของเรือจะโคลงมากก็จำเป็นต้องหาระบบกันโคลงมาใช้ (กรณีที่นำมิติของ Roll มาศึกษาร่วมกับสมการ (10) และ (11)) เป็นต้น

ข. ระบบควบคุมทิศทางของเรือผิวน้ำแบบอัติโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) มีความสำคัญและจำเป็นอย่างมากกับทุกอุตสาหกรรม สำหรับในงานด้านเรือเองนับวันแต่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นโดยเฉพาะเรือที่มีความเร็วและที่มีสมรรถนะสูง เช่น Hybrid Catamaran, SWATH,SES, Hovercraft, ROV (Remotely Operated Vehicle)เป็นต้น [24,25 26,27] โดยอาจนำไปใช้ควบคุมอาการทริมของเรือ ระบบนำร่อง ระบบไฮโดรฟอยล์และระบบยกตัวเรือที่มีความสลับซับซ้อน อย่างในกรณีของเรือ Hovercraft เป็นที่ทราบกันดีว่า ถ้าไม่มีระบบควบคุมปริมาณของลมที่เป่าลงไปยกให้เรือลอยขึ้นอย่างเหมาะสมแล้ว

ก็ไม่สามารถที่จะปฏิบัติงานในน้ำที่มีคลื่นแม้ขนาดเล็กก็ตาม เพราะถ้าปรับลมไม่เหมาะสมเรือจะลอยมากไป อากาศก็จะเล็ดลอดออกทางช่องระหว่างริมกระโปรงกับร่องคลื่น ทำให้เรือตกลงมากระแทกคลื่นจนอยู่ในสภาพไร้ความเสถียร ระบบควบคุมอัตโนมัติในปัจจุบันยังได้รับความสนใจอย่างยิ่งในงานเกี่ยวกับการขุดเจาะและสำรวจทะเลซึ่งต้องการตำแหน่งที่เที่ยงตรงของฐานที่ทำเป็นเรือโดยใช้ระบบควบคุมร่วมกับGPS นอกจากนั้นเมื่อไม่นานมานี้กองทัพเรือของเนเธอร์แลนด์ยังได้คิดค้นและติดตั้งใช้งานระบบที่ใช้หางเสือเพื่อควบคุมอาการโคลงของเรือไปพร้อมกับการควบคุมทิศทางที่มีชื่อเรียกว่า Roll-Rudder Stabilization อีกด้วย [28,29] ทั้งนี้ก็อาศัยข้อสังเกตที่ว่า เมื่อมีการใช้หางเสือจะก่อให้เกิดอาการ Roll กับเรือด้วย จึงคิดค้นที่จะใช้มุม Roll อันนี้ไปหักล้างกับมุม Roll ที่มีสาเหตุมาจากคลื่นในทะเล การกระทำเช่นนี้จะไม่ส่งผลกระทบกับการ Yaw ของเรือเนื่องจากอาการ Roll จะมีความว่องไวมากกว่าอาการ Yaw ที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมของหางเสือ



รูปที่ 12 ไดอะแกรมแสดงการควบคุมเรือด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือผิวน้ำหรือ Autopilot ที่สนใจในที่นี้นั้นมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งล้วนแต่ทำหน้าที่ในการปรับแต่งมุมหางเสือ δ อย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างแรงที่จะใช้ในการควบคุมทิศทางของเรือตามหลักการที่แสดงในรูปที่ 12 สมมติว่าตัวควบคุมที่ใช้เป็นแบบที่เรียกว่า Proportional and Derivative Controller (PD Controller) ที่มีการทำงานโดยการส่งสัญญาณควบคุมหรือ Control Law ที่เป็นไปตามสมการ

$$\delta(t) = K_p[\psi_d - \psi(t)] - K_d r(t) \tag{16}$$

เมื่อ ψ_d เป็นค่ามุมของเรือที่ต้องการ และ K_p, K_d เป็นค่า Gain ของตัวควบคุมที่สามารถตั้งค่าได้เมื่อแทนค่าสมการ (16) ลงในสมการ (12) จะได้ว่า

$$T_1T_2\dddot{\psi}(t)+(T_1+T_2+T_3KK_d)\ddot{\psi}(t)+(1+KK_d+T_3KK_p)\dot{\psi}(t)+KK_p\psi(t)=KK_p\psi_d \tag{17}$$

สมการ (12) เป็นการแสดงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเรือโดยธรรมชาติ แต่สมการ (17) จะแสดงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเรือที่มีระบบควบคุมติดตั้งอยู่ด้วย โดยหลักการแล้วผู้ออกแบบหรือผู้ใช้เรือสามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของเรือทั้งในแง่ของ Transient Response และ Steady-State Response ตามที่ต้องได้โดยการตั้งค่า K_p, K_d ของตัวควบคุม ยิ่งไปกว่านั้นผู้ออกแบบยังสามารถทำนายความเสถียรของเรืออีกประเภทหนึ่งได้จากสมการต่อไปนี้

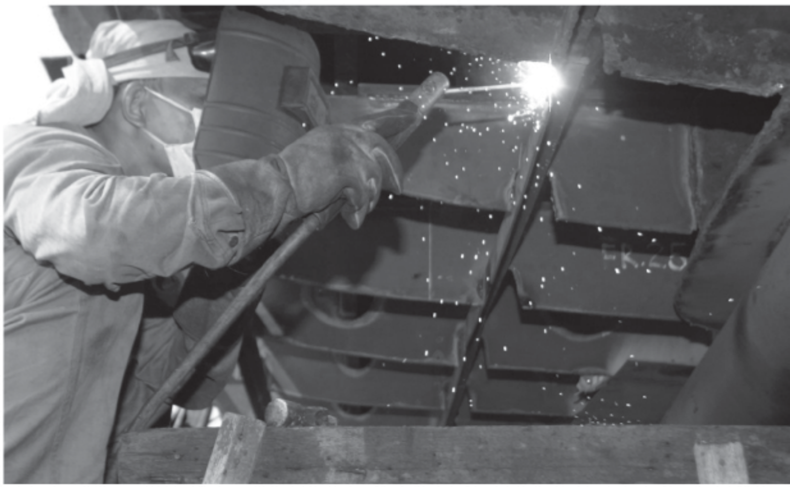
$$A\sigma^3+B\sigma^2+C\sigma+D = O \qquad (18)$$

โดยที่

$$A = T_1T_2$$
$$B = T_1+T_2+T_3KK_d$$
$$C = 1+KK_d+T_3KK_p$$
$$D = KK_p$$

หากตรวจสอบค่าเหล่านี้ด้วยการใช้ Routh Stability Criterion ที่รู้จักกันดีในสาขาการควบคุมอัตโนมัติแล้วพบว่า $A,B,C,D>O$ และ $BC\text{-}AD>O$ ก็หมายความว่า เรือลำนั้นมีความเสถียรที่เรียกว่า ความเสถียรตามแนวเข็ม (Directional Stability หรือ Stability on Course) ซึ่งคล้ายคลึงกับความเสถียรตามแนวเส้นตรง แต่ดีกว่าตรงที่เรือจะกลับไปแล่นในแนวขนานกับแนวเข็มเดิมหลังจากที่สิ่งภายนอกมารบกวน ความเสถียรที่ว่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการติดตั้งระบบ Autopilot อยู่เท่านั้น

ในระหว่างการใช้งานหรือในกรณีที่ผู้ใช้เรือนำเรือเข้ารับการซ่อมทำในอู่เรือแล้ว ในระหว่างนั้นหากมีการกระทำใดก็ตามที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อรูปร่างทางเรขาคณิตของส่วนที่อยู่ใต้น้ำจากที่ตั้งใจออกแบบเอาไว้ เช่น ระวางขับน้ำหรือทริมเรือเปลี่ยนไปเนื่องจากการยกอุปกรณ์ที่ขนาดใหญ่หรือเล็กกว่ามากลงแทนที่ของเดิมหรือปะทับตัวเรือส่วนใดส่วนหนึ่งมากเกินไป หรือแม้แต่การนำเครื่องถือท้ายหรือ Steering Gear ชุดใหม่ที่มีการทำงานแตกต่างจากของเดิมลงติดตั้ง ก็จะเป็นเหตุนำไปสู่ปัญหาด้านการควบคุมเรือได้อย่างไม่ต้องสงสัย จากความรู้ข้างต้นสามารถมองเห็นได้ทันทีว่า กรณีดังกล่าวส่งผลให้ Hydrodynamic Derivatives ของเรือเปลี่ยนค่าไปจากสภาพเดิมของเรือก่อนการเข้าอู่ ถึงแม้ว่าจะเป็นเรือที่ไม่มี Autopilot ก็ตาม พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเรือย่อมเปลี่ยนไป การควบคุมเรือโดยคนถือท้ายอาจทำได้ยาก อาการของเรืออาจไม่ตอบสนองกับมุมหางเสืออย่างที่เคยเป็นส่งผลกับการเลี้ยวหันและการกลับลำเรือ ถ้าเป็นกรณีเรือที่มี Autopilot ติดตั้งอยู่ด้วย Gain ของตัวควบคุมที่



ตั้งค่าไว้อาจไม่เหมาะสมกับสภาพเรือในขณะนั้นอีกต่อไป เปรียบเสมือนกับว่าเรือที่ Autopilot จะควบคุมนั้นไม่ใช่ลำเดิมอีกแล้ว เรือจึงไม่ปฏิบัติงานตามที่หวังเอาไว้อีกทั้งยังอาจอยู่ในสภาพไร้ความเสถียร ยากแก่การบังคับทิศทางหรืออาจถึงขั้นบังคับไม่ได้เลย ลักษณะเช่นนี้ก็คล้ายกับการติดตั้งระบบกันโคลงที่เป็นแบบ Active เช่น Fin Stabilizer หากสภาพเรือหรือสภาพแวดล้อมที่ใช้งานเปลี่ยนไปจากที่ควรจะเป็น ระบบกันโคลงซึ่งทำงานคล้ายกับ Autopilot ก็จะให้โทษมากกว่าเป็นคุณ ทั้งเพิ่มความต้านทานเรือและยังทำให้เรือเกิดอาการโคลงมากขึ้นเสียอีก นอกเสียจากว่าจะใช้ระบบควบคุมแบบที่มีการปรับแต่งค่า Gain อย่างต่อเนื่องเท่านั้นซึ่งไม่ใช่สิ่งที่จะพบเห็นกันบ่อยนักในงานเรือ เนื่องมาจากความไม่คุ้มค่า

สรุป

งานการซ่อมทำตัวเรือดูเหมือนจะเป็นงานที่ไม่ค่อยยุ่งยากสลับซับซ้อนเท่าไรนัก แต่ถ้าหากพิจารณาอย่างรอบคอบถึงผลกระทบต่างๆที่อาจเป็นผลพวงมาจากการทำงานในแขนงนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเรือสมรรถนะสูงที่นับวันแต่จะมีจำนวนมากขึ้น จากข้อมูลเอกสารที่เปิดเผยต่อสาธารณะและประสบการณ์การใช้งานแล้วจะเห็นได้ว่า สามารถทำให้เกิดผลเสียต่อขีดความสามารถและประสิทธิภาพของเรือได้ไม่ว่าจะเป็น เครื่องจักรใหญ่และอุปกรณ์ ชุดเกียร์ เพลาใบจักร ตลอดจนพฤติกรรมการเคลื่อนที่และการควบคุมเรือไม่ทางตรงก็ทางอ้อมขึ้นอยู่กับว่าจะช้าหรือเร็วเท่านั้น ทั้งนี้ยังไม่พูดถึงอิทธิพลที่มีต่อการสั่นสะเทือนของตัวเรือและระบบเพลา การดำรงสภาพในทะเล (Seakeeping) หรือแม้แต่พลศาสตร์ของน้ำเลย ดังนั้นความรู้จากสาขาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือสามารถที่จะถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยในการป้องกันและลดภาวะความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นมากับระบบต่างๆในระหว่างการซ่อมทำหรือตามมาภายหลังตลอดจนลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้ บางครั้งการเปลี่ยนจากสภาพดั้งเดิมของเรืออาจเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในงานซ่อมทำและดัดแปลง แต่ความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการที่จะทำนายอย่างมีหลักการถึงสิ่งที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเช่นนั้นก็จะเป็นการช่วยเพิ่มความเชื่อถือ (Reliability) ให้กับระบบโดยรวมหลังการซ่อมทำอีกทางหนึ่ง รวมทั้งยังช่วยเพิ่มความน่าไว้วางใจ (Integrity) ให้กับผู้ซ่อมทำ และช่วยหลีกเลี่ยงการเกิดข้อโต้แย้งอันสืบเนื่องมาจากความเข้าใจไม่ถูกต้องและการขาดการไตร่ตรองในผลกระทบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Harrington, Roy L. Marine Engineering. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey, 1992.
2. St. Denis, M. On the Structural Design of the Midship Section. Navy Department, the David W. Taylor Model Basin, Washigton D.C., 1954.
3. Owen, Hughes. Ship Structural Design: A Rational-Based, Computer-Aided, Optimization Approach. New York: John Wiley & Sons, 1983.
4. Wang, Chu-Kia. Statically Indeterminate Structures. New York: Mcgraw-Hill Book Company Inc., 1953.
5. Woodward, John B. Low Speed Marine Diesel. New York: John Wiley & Sons Inc., 1981.
6. Panel M-15. Marine Diesel Power Plant Performance Practices. Published by SNAME, 1975.
7. Wagner, Michael. Rational Methods for Engine Rating. University of Michigan, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Michigan, Report # 090, 1970.
8. Gerr, Dave. Propeller Handbook. London: International Marine Publishing Company, 1989.
9. Carlton, J. S. Marine Propellers and Propulsion. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd., 1994.
10. Woodward, John B. Matching Engine and Propeller., . University of Michigan, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Michigan, Report # 142, 1976.
11. Lewis, Edward V. Principles of Naval Architecture: Second Revision: Vol. II. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey, 1988.
12. Harvald, Sv.Aa. Resistance and Propulsion of Ships. New York: John Wiley & Sons, 1983.
13. Kehoe, Capt. James W.; Brower, Kenneth S.; Meier, Herbert A. "The Impact of Design Practices on Ship Size and Cost", Naval Engineers Journal (April 1982), p. 68-86.
14. Wadlin, Kenneth L. and Christopher, Kenneth W. "A Method for Calculation of Hydrodynamic Lift for Submerged and Planing Rectangular Lifting Surfaces", National Aeronautics and Space Administration, Technical Report R-14, 1958.
15. Anderson, Henry C. and Zrodowski, J.J. "Co-Ordinated Alignment of Line Shaft, Propulsion Gear and Turbines", SNAME Transactions, Vol. 67 (1959), p. 449-523.
16. McKernan, J. Cameron. "Propulsion Shafting Installation and Alignment Procedures", STAR Proceedings sponsored by SNAME, 1986, p. 267-277.
17. Panel M-16-1 of Ships Machinery Committee."Guide to Propulsion Reduction Gear Alignment and Installation", Published by SNAME, 1987.
18. Larsen, Odd C. "Some Considerations on Shaft Alignment of Marine Shaftings", Norwegian Maritime Research, No. 2/1976 (1976), p. 19-32.
19. Mann, Graeme. "Design of Propulsion Shaft Systems Using Fair Curve Alignment Theory", Naval Engineers Journal (December 1964), p. 851-862.
20. Volcy, Guy C. "Reduction Gear Damages Related to External Influences", MarineTechnology, Vol. 12, No. 4 (October 1975), p. 335-366.
21. Abkowitz, M.A. Stability and Motion Control of Ocean Vehicles. Massachusette: The MIT Press, 1969.
22. Kallstrom, C.G. and Astrom, K.J. "Experiences of System Identification Applied to Ship Steering", Automatica, Vol. 7 (1981), p. 187-198.
23. Nomoto,K.; Taguchi, T.; Honda, K. and Hirano, S. "On the Steering Qualities of Ships", Technical Report, International Shipbuilding Progress,Vol. 4, 1957.
24. Fossen, Thor I. Guidance and Control of Ocean Vehicles. New York: John Wiley & Sons, 1994.
25. Yamato, H.; Koyama, T. and Fujita, N. "Pitch and Roll Control Systems of the Hydrofoil Catamaran", Proceedings of the 2nd International Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft, Southampton, England (1992), p. 405-419.
26. Caldeira-Saraiva, F.L.A. and Clarke, D. "Application of Multivariable Control Techniques to the Active Motion Control of SWATH Craft" the International Conference on SWATH ships and Advanced Multi-Hulled Vessels, London, England (1985).
27. Lewis, D.J.; Lipscombe, J.M. and Thomasson, P.C. "The Simulation of Remotely Operated Vehicles", Proceedings of ROV84, 1984, p. 245-251.
28. Roberts, G.N. and Braham, S.W. "Warship Roll Stabilization using Integrated Control of Rudder and Fins", 9th Ship Control Systems Symposium, Bethesda, USA., 1990.
29. Roberts, G.N. "Ship Motion Control", Manoeuvring and Control of Marine Craft Proceedings of the Second International Conference, Southampton,UK., 1992.

ระบบขับเคลื่อนเครื่องพ่นน้ำ ที่มีใช้อยู่ในกองทัพเรือ

Waterjet Propulsion System in The Royal Thai Navy

เรือเอก ดร.ชลัมพ์ โสมาภา, นาวาเอก ดร.สมัย ใจอินทร์, พลเรือตรี มนต์ชัย วิมุกตานนท์
กรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ
ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพ ฯ 10700

Lt. Chalum Somabha Ph.D., Capt. Samai Jai-in Ph.D., RAdm. Monchai Vimuktanon
Engineering Development Department,The Royal Thai Naval Dockyard
Arun-Amarin Rd., Sirirach, Bangkok Noi, Bangkok 10700

บทคัดย่อ

ระบบขับเคลื่อนเรือด้วยเครื่องพ่นน้ำ (Waterjet) มีข้อดีเหนือกว่าระบบขับเคลื่อนเรือด้วยใบจักรหลายประการ เช่น เรือที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องพ่นน้ำสามารถแล่นในน้ำตื้น (Shallow draft) ได้ดีกว่าเพราะไม่มี

ส่วนประกอบยื่นออกมาจากท้ายเรือจึงทำให้ลดแรงต้านทานเรือ (Low ship resistance) เป็นสาเหตุให้เกิดความคล่องตัวสูงขึ้น อีกทั้งประสิทธิภาพของเรือไม่ลดลงเมื่อแล่นด้วยความเร็วสูง ปัจจุบันระบบขับเคลื่อนชนิดนี้ใช้ในเรือตรวจการณ์ลำน้ำ (Patrol Boat River หรือ PBR) ของกองทัพเรือซึ่งมีหน้าที่หลักในการตรวจตรา รักษาความปลอดภัย จับผู้กระทำความผิด เช่น การลำเลียงขนส่งยาเสพติด การลักลอบข้ามพรมแดน เป็นต้น ดังนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องพัฒนาเรือตรวจการณ์ลำน้ำให้มีความเร็วสูงขึ้น

Abstract

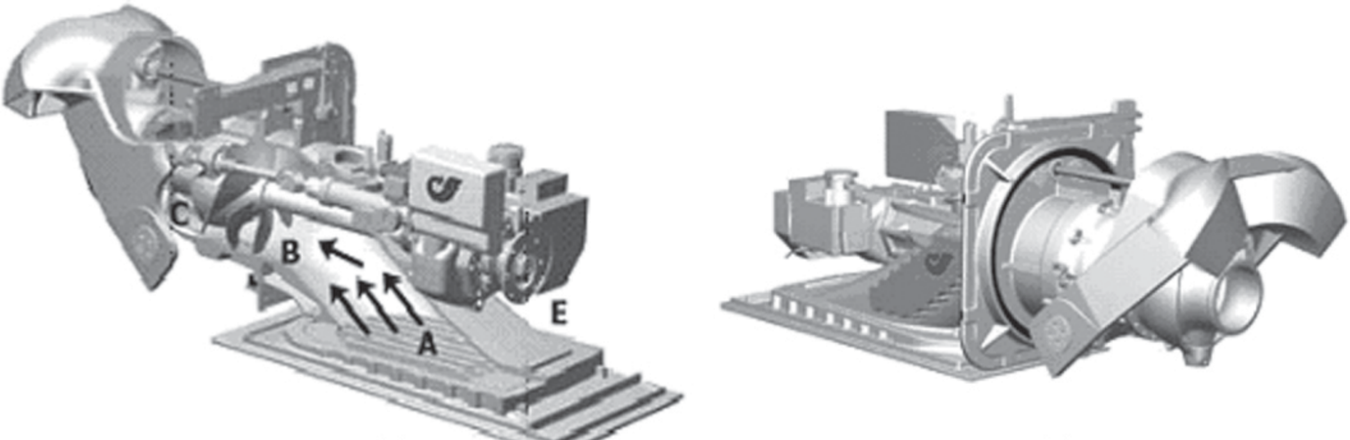
Waterjet propulsion system has many advantages over propeller system for example waterjet intake flush with the hull, provides minimal draft in shallow water with the absence of underwater appendages thus resulting in the reduction in hull resistance. Waterjets have excellent maneuverability and have higher propulsive efficiencies than propeller systems at medium to high planning speeds. Waterjets have been used for the propulsive systems for Naval Patrol Boat for more than three decades, to maintain the security around the Thailand's border.

บทนำ

ระบบขับเคลื่อนของเรือที่ใช้กันแพร่หลายและเป็นที่รู้จักกันดีคือระบบการขับเคลื่อนด้วยใบจักรเรือ (Marine Propeller Systems) ซึ่งมีมานานแล้ว และใช้ในเรือเกือบทุกประเภท ตั้งแต่เรือขนาดเล็กถึงเรือขนาดใหญ่ เช่น เรือประมง เรือโดยสาร เรือรบ เรือสินค้า เป็นต้น แต่ยังมีระบบขับเคลื่อนอีกชนิดหนึ่งซึ่งยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายในประเทศไทย ระบบดังกล่าว เรียกว่า "Waterjet Propulsion" หรือที่เรียกเป็นภาษาไทยว่า "ระบบขับเคลื่อนเครื่องพ่นน้ำ"

1. หลักการทำงานของ Waterjet

Waterjet คือ Pump ชนิด Mixed flow ชนิดหนึ่ง ซึ่งจะดูดน้ำจากช่องใต้ท้องเรือเข้าสู่ตัวเรือนปั๊ม แล้วจึงถูกพ่นออกมาจากทางท้ายเรือด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่ถูกดูดเข้า ด้วยความแตกต่างกันของโมเมนตัมของน้ำที่เข้าใต้ท้องเรือกับน้ำที่พ่นออกไปทางท้ายเรือ จึงทำให้เกิดแรงผลัก หรือ Thrust ต่อตัวเรือทำให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูง



(a) (b)

รูปที่1 เครื่องพ่นน้ำ

Waterjet มีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ Intake Duct (A) 2. Pump Impeller (B) 3. Stator (C) 4. Outlet Nozzle 5. Reverse Gate 6. Deflector

เมื่อ Pump Impeller ถูกทำให้หมุนด้วยมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ส่งผลให้น้ำถูกดูดเข้ามาทาง Intake Duct ผ่าน Impeller เข้าสู่ Stator ซึ่ง ณ บริเวณนี้ น้ำจะถูกทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นจนมีพลังงานศักย์เต็มที่แล้วจึงไหลผ่านเข้าสู่ Outlet Nozzle ที่ท้ายเรือเกิดเป็นพลังงานจลน์ให้เรือขับเคลื่อนไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูงได้ สำหรับการลดความเร็ว การหยุดเรือ และทำให้เรือเกิดอาการถอยหลัง กระทำได้โดยการเคลื่อนตัว Reverse Gate ลงมาขวางทางพ่นน้ำของ Outlet Nozzle ยิ่งลงมาต่ำมาก ก็ยิ่งจะส่งผลให้เรือเกิดแรงต้านเพิ่มมากขึ้น จนสามารถหยุดเรือและถอยหลังได้ในที่สุด Deflector มีหน้าที่เหมือนกับหางเสือคือเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ของเรือ จากการหักเหการไหลของน้ำที่พ่นออกมาจาก Outlet Nozzle

รูปที่ 2 เรือโดยสาร Ferry ใช้ Waterjet ขับเคลื่อน

ขีดความสามารถ ของ Waterjet ในปัจจุบัน

กำลัง:	สูงสุดถึง 23 เมกะวัตต์
เส้นผ่านศูนย์กลาง Impeller:	สูงสุดถึง 2.8 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง Inlet:	สูงสุดถึง 2.1 เมตร
จำนวนรอบ RPM:	2500 rpm
ความเร็วสูงสุด:	70+นอต

2. คุณสมบัติพิเศษของเครื่อง Waterjet

มีดังนี้ [1]

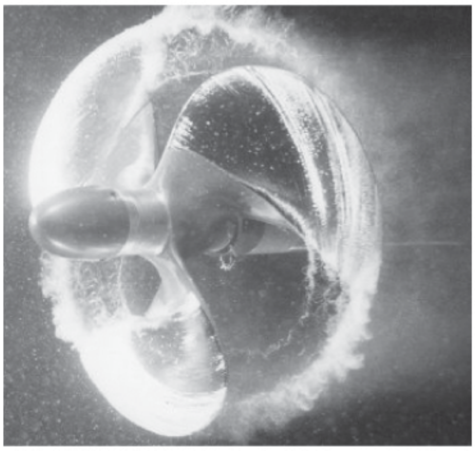
- Waterjet ไม่มีความจำเป็นต้องมีใบจักรอยู่ใต้ท้องเรือ ทำให้ไม่เกิดการกระทบกับวัตถุใต้น้ำ และลดปัญหาอุบัติเหตุทางน้ำได้ในกรณีที่มีคนอยู่ในบริเวณใกล้ ๆ
- สามารถแล่นในน้ำตื้นได้ เนื่องจากตัวเรือกินน้ำตื้น และไม่มีส่วนที่ยื่นออกจากตัวเรือ จึงมีความต้านทานตัวเรือที่ต่ำ
- สามารถบังคับทิศได้ทุกอัตราเร็ว การเคลื่อนที่ของเรือเป็นไปอย่างรวดเร็วและสามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ทันทีที่ต้องการ
- การดูดซับกำลังของตัวเครื่อง Waterjet ไม่มีผลกระทบกับความเร็วของตัวเรือ
- มีความสั่นสะเทือนน้อยและเกิดสัญญาณเสียงใต้น้ำต่ำ
- Waterjet ง่ายต่อการดูแลรักษา การซ่อมแซม และการติดตั้ง

ประสิทธิภาพของ Waterjet หาได้จาก 3 ส่วน [2] ส่วนแรก คือ ประสิทธิภาพของปั๊ม (Pump Efficiency) อาจสูงถึง 90-93 % ใน Waterjet ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนที่สองได้แก่ ประสิทธิภาพตัวเรือ (Hull Efficiency) คือ Interaction ของของไหลภายนอกตัวเรือ และระบบขับเคลื่อน ส่วนสุดท้าย ได้แก่ ประสิทธิภาพของโมเมนตัม (Momentum Efficiency) ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง Inlet Flow Velocity และ Outlet Flow Velocity ค่า Momentum Efficiency เป็นศูนย์เมื่อ Velocity Ratio เท่ากับ 1 แต่จะดีที่สุดเมื่อ ค่า Velocity Ratio เท่ากับ 0.7 โดยประมาณ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบขับเคลื่อน Waterjet และ Propeller จะพบว่า ประสิทธิภาพของ Waterjet จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นและจะมีค่าน้อยลงเมื่อเรือมีความเร็วลดต่ำลง ทั้งนี้ เมื่อเรือมีความเร็วต่ำ Momentum Efficiency จะมีค่าต่ำเช่นกัน เนื่องจากไม่สามารถ Optimize ความแตกต่างความเร็วของของไหลที่ Inlet และ Outlet ได้ ฉะนั้นจะมีความเหมาะสมกว่า ถ้าจะใช้ระบบขับเคลื่อน Waterjet กับเรือที่ปกติใช้กับงานซึ่งต้องการความเร็วที่สูงเกินกว่า 25 นอต เพราะประสิทธิภาพของ Waterjet จะไม่ลดลงเหมือนกับระบบขับเคลื่อนซึ่งใช้ใบจักรหรือ Propeller

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีการนำ Waterjet มาใช้กับเรือเร็วชนิดต่าง ๆ ได้มีขึ้นอย่างแพร่หลาย และกำลังก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในต่างประเทศ เช่น ประเทศออสเตรเลีย และ นิวซีแลนด์ มีการศึกษาแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในส่วนของ Intake Duct ของตัวเรือน Waterjet นั้นมีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องออกแบบให้มีการไหลของ Flow ที่มี Turbulence ที่เหมาะสม เพราะ Intake Duct เป็นจุดเริ่มต้นของ Flow ซึ่งจะถูกส่งต่อเข้าสู่ส่วนอื่นของระบบ เช่น ตัว Impeller และ Stator จนพ่นสู่ภายนอกผ่าน Exit Nozzle ในที่สุด ลักษณะการไหลของ Flow ผ่าน Inlet Duct จึงเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดค่าประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนและเรือ

มหาวิทยาลัยทาสมาเนีย (University of Tasmania) แห่งประเทศออสเตรเลีย ได้ทำการวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่องนี้โดยตรง [3] กล่าวคือ ลักษณะ Non-uniform flow ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่ง Waterjet Intake ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของ Jet อีกทั้งยังทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจาก Cyclically Varying Loads และ Local Cavitations ณ Impeller และอาจจะส่งผลให้เกิด Fatigue ที่เนื้อโลหะได้เช่นกัน คณะวิจัยของมหาวิทยาลัยได้เสนอวิธีแก้ไขปัญหาการเกิด Flow Distortion เช่นนี้โดยการติดตั้ง Vortex Generator ภายใน Intake เพื่อปรับปรุง Flow Uniformity โดยใช้ CFD (Computational Fluid Dynamics)ในการศึกษาวิเคราะห์ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของ Vortex Generator และใช้ Cavitation Tunnel ในการทดลองเพื่อกำหนด Validation



3 4
5

รูปที่ 3 Cavitation ที่ใบจักรเรือ
รูปที่ 4 Vortex Generator บนปีกเครื่องบิน
รูปที่ 5 ยานสะเทินน้ำสะเทินบก AAAV

คณะวิจัยที่ Tasmania University เชื่อว่าการติดตั้งอุปกรณ์ชิ้นนี้เข้าไป ณ จุด Intake ของ Waterjet อย่างเหมาะสม เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของ Waterjet แนวทางหนึ่ง ซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ และสามารถลดปัญหาการเกิด Turbulence และ Cavitations ได้ ปกติแล้ว Vortex Generator จะเป็นที่รู้จักมากในงานที่เกี่ยวข้องกับวิศวรรมอากาศยานชนิดหนึ่งใช้ติดกับปีกเครื่องบิน เพื่อช่วยให้การไหลของอากาศ มีลักษณะ เป็น uniform มากยิ่งขึ้น ลดการไหลผ่านของอากาศแบบปั่นป่วน หรือ Turbulent flow

ยานสะเทินน้ำสะเทินบกหรือที่เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า Amphibious Assault Vehicle ของหน่วยนาวิกโยธิน [4] เป็นพาหนะอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้ Waterjet เป็นส่วนหนึ่งของระบบขับเคลื่อนในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ในน้ำ กำลังมีการวิจัยและพัฒนาระบบ Waterjet ที่ใช้ทางทหารชนิดนี้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาอย่างต่อเนื่อง

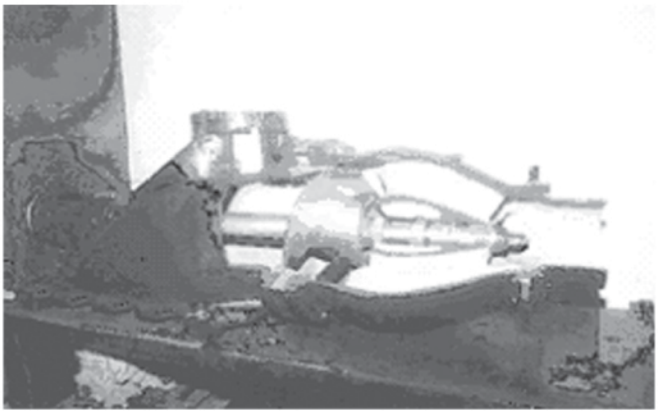
ยานสะเทินน้ำสะเทินบกชนิดแอดว้านซ์ของสหรัฐอเมริกา (AAAV) ได้รับการออกแบบมาสำหรับบรรทุกทหาร 21 นาย สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกินกว่า 20 นอต ในทะเลที่มีคลื่นและลม 45 ไมล์/ชั่วโมง บนบก โดยต้องใช้กำลังขับเคลื่อนอย่างมหาศาลเพื่อให้สามารถทำความเร็วดังกล่าวได้

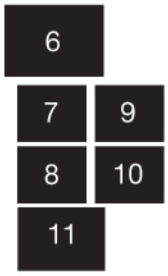
ระบบขับเคลื่อน Waterjet ของยานสะเทินน้ำสะเทินบกนี้ถูกขับด้วยเครื่องยนต์ดีเซลด้วยแรงม้าที่สูงกว่า 2000 hpโดยวิศวกรผู้ออกแบบส่วน Inlet Duct ได้กล่าวว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องลดแรงต้าน (Drag) ที่ส่วน Intake ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Cavitation ซึ่งสามารถทำให้ Pump Impeller เกิดความเสียหายได้

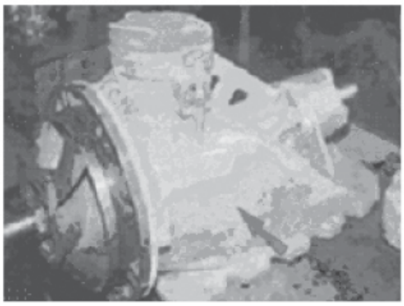
การนำ Computational Fluid Dynamics (CFD) มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ จะทำให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงความเร็วและแรงดันของของไหลที่มากระทำต่อ Waterjet Intake โดยตลอด อีกทั้งยังช่วยสร้างความเข้าใจในการออกแบบที่ดีกว่าการใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพงในการทดลอง

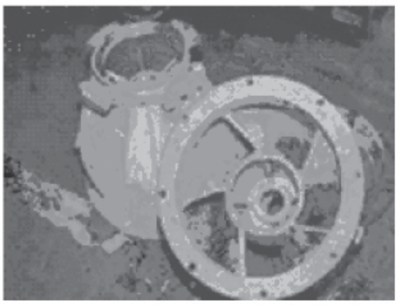
3. Waterjet ที่มีใช้อยู่ในกองทัพเรือ

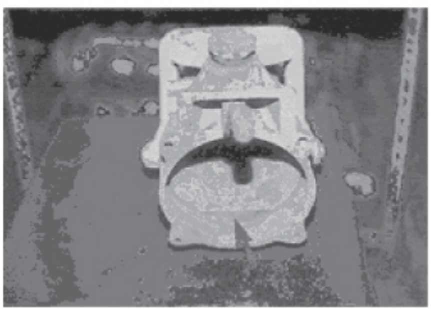
กรมอู่ทหารเรือมีศักยภาพและความสามารถในการผลิตเครื่องพ่นน้ำได้เองมาตั้งแต่สมัยหลังสงครามเวียดนาม โดยในสมัยนั้นเป็นการผลิตเพื่อเป็นอะไหล่สำหรับส่วนประกอบหลักของเรือตรวจการณ์ลำน้ำ เช่น Intake Duct, Bowler, Nozzle เป็นต้น เพื่อทดแทนส่วนประกอบที่ชำรุด พังเสียหาย โดยไม่ต้องสั่งเข้าจากต่างประเทศ จวบจนปัจจุบันนี้ กรมอู่ทหารเรือสามารถผลิตตัวเครื่องพ่นน้ำ รวมถึงอะไหล่ และส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดงบประมาณของประเทศได้อย่างมหาศาล











รูปที่ 6 โมเดล Waterjet
รูปที่ 7 ส่วน Inlet Suction
รูปที่ 8 ส่วน Bowler หรือ Stator
รูปที่ 9 ส่วน Impeller
รูปที่ 10 ส่วน Deflector
รูปที่ 11 การประกอบ Waterjet

ปัจจุบันมีการใช้เครื่องพ่นน้ำกับเรือตรวจการณ์ลำน้ำในกองทัพเรือรวมทั้งสิ้น 36 ลำ ที่ใช้ปฏิบัติการตามลำน้ำโขง จำนวน 28 ลำ หน่วยช่วยเหลือผู้ประสบภัยและหมู่เรือรักษาความปลอดภัย จำนวน 6 ลำ และหน่วยเฉพาะกิจ 361 สตูล จำนวน 2 ลำ โดยต้องใช้เครื่องพ่นน้ำขับเคลื่อนลำละ 2 เครื่อง กองเรือลำน้ำมีภารกิจหลักในการป้องกันขัดขวางทำลายการแทรกซึมและดำเนินการที่กระทบกระเทือนต่อผลประโยชน์และอธิปไตยของประเทศตามลำแม่น้ำในอาณาเขต เช่น การลักลอบเข้าประเทศอย่างผิดกฎหมาย และการลำเลียงขนส่งยาเสพติดตามพรมแดน

รูปที่ 12 เรือตรวจการณ์ลำน้ำ (Patrol Boat River)

4. โครงการวิจัยและพัฒนา Waterjet และเรือตรวจการณ์ลำน้ำของกองทัพเรือ

การที่เรือตรวจการณ์ลำน้ำจะปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้นั้น จำเป็นต้องมีเรือที่มีความคล่องตัว มีความเร็ว และมีความแน่นอนเชื่อถือได้ สามารถแล่นไปตามแม่น้ำได้อย่างมั่นใจ แต่ในความเป็นจริง ปัจจุบัน เรือตรวจการณ์ที่ใช้อยู่ที่กองเรือลำน้ำ กองเรือยุทธการ มีความเร็วลดต่ำลงไปมาก ไม่สามารถแล่นด้วยความเร็วสูงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องแล่นในทิศทางที่ทวนกระแสน้ำ หรือขณะมีลมพัดแรง เหล่านี้เกิดด้วยจากสาเหตุ เช่น การอุ้มน้ำของตัวเรือ ส่งผลให้ตัวเรือมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ประการที่สอง เครื่องยนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีกำลังแรงม้าตกลงไปกว่าเดิมเนื่องจากการใช้งานที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน อีกทั้งประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนเครื่องพ่นน้ำที่ใช้อยู่ปัจจุบันไม่สูงพอเพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ กองทัพเรือจึงเห็นสมควร ให้มีการทำวิจัยเพื่อพัฒนาระบบขับเคลื่อนพ่นน้ำและตัวเรือให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นกว่าเดิม โครงการนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือการวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพเรือตรวจการณ์ลำน้ำที่ใช้ระบบขับเคลื่อนเครื่องพ่นน้ำ (Waterjet) ให้มีความเร็วสูงขึ้นเกินกว่า 30 นอต การวิจัยในโครงการนี้มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับวิชากลศาสตร์ของไหล และงานในสาขาวิศวกรรมต่อเรือ (Naval Architecture) เป็นส่วนใหญ่ การดำเนินการวิจัยมีหลัก คือการศึกษาลักษณะการไหลของของไหลภายในตัวเรือน

Waterjet เพื่อศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบขับเคลื่อนเครื่องพ่นน้ำ และ การลดการเกิด Turbulence และ Cavitation ในส่วนของ Intake Duct, Outlet Duct, Impeller และ Stator เป็นต้น โดยกรรมวิธีทางไฟไนท์เอลิเมนต์ (Finite Element) นอกจากนี้จะมีการสร้าง Model และ Cavitation Tunnel เพื่อใช้ในการทดสอบ สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิศวกรรมการต่อเรือนั้น จะเป็นการพัฒนาปรับปรุงโครงสร้าง รูปทรงตัวเรือให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น และมีน้ำหนักที่เบาลงกว่าเดิม

5. สรุป

เรือซึ่งใช้ระบบขับเคลื่อน Waterjet มีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถแล่นในน้ำตื้นได้ มีความคล่องตัวสูง สามารถหยุดฉุกเฉินได้ และมีความปลอดภัยสูง มีประสิทธิภาพสูงที่ความเร็วสูง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ กองทัพเรือจึงใช้ระบบขับเคลื่อนเรือชนิดนี้ในเรือตรวจการณ์ลำน้ำปฏิบัติหน้าที่อยู่ตามชายฝั่งแม่น้ำ เพื่อดูแลรักษาความปลอดภัยของประเทศ จากการลักลอบกระทำผิดกฎหมาย โครงการวิจัยระบบขับเคลื่อน Waterjet นี้เมื่อสำเร็จ กองทัพเรือจะมีหน่วยงานที่มีขีดความสามารถในการออกแบบ วิจัย และพัฒนารวมทั้งผลิตเครื่องพ่นน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ครบวงจร กองทัพเรือจะมีเรือตรวจการณ์ลำน้ำมีขีดความสามารถสูงขึ้น และปฏิบัติงานในหน้าที่ได้อย่างเต็มที่ และจะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาขีดความสามารถในการผลิตและการวิจัยพัฒนาระบบขับเคลื่อนเครื่องพ่นน้ำเพื่อใช้ในเรือชนิดอื่นซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นของกองทัพเรือต่อไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาคพลเรือนได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.hamjet.co.nz/index.cfm/

[2] “Naval Waterjets Versus Naval Propellers”, Naval Forces, 6/2002, pp.17-18

[3] J.L.Roberts, P.A.Brandner, G.J.Walker, “Higher Performance CFD, Optimising Waterjet Intake Performance” School of Engineering, University of Tasmania

[4] J.L.Allison, “Using CFD to design waterjet inlets”

ศึกษาความเป็นไปได้ ของการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก

Feasibility Study for Building Submersible Vessel

นาวาเอก ดร.พงศ์สรร ถวิลประวัติ รองเจ้ากรมแผนการช่าง กรมอู่ทหารเรือ,
นาวาตรี อรรถสิทธิ์ พงษ์เกษตร์กรรม์, นาวาเอก ตนัย ภู่รอด
กรมอู่ทหารเรือ ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพ ฯ 10700
อภิชา จารุพันธ์
สาขาวิชาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา, 199 ถนนสุขุมวิท, ศรีราชา, ชลบุรี, 20230

Capt. Pongsan Twinprawate Ph.D.
Deputy Director Engineering Planning Department, The Royal Thai Naval Dockyard,
LCdr. Artthasit Pongkasetkum, Capt.Tanai Purod
The Royal Thai Naval Dockyard Arun-Amarin Rd., Sirirach, Bangkok Noi, Bangkok 10700
Apicha Jaruphan
Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Fuculty of Engineering,
Kasetsart University at Si Racha Campus, 199 Sukumvit Road, Si Racha, Chonburi, 20230

บทคัดย่อ

***บทความ**ทางวิชาการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาความเป็นไปได้ของการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก การออกแบบพื้นฐานของยานใต้น้ำนั้นจะดำเนินการออกแบบโดยคำนึงถึงขีดความสามารถของอู่ต่อเรือภายในประเทศ ในส่วนของงาน*

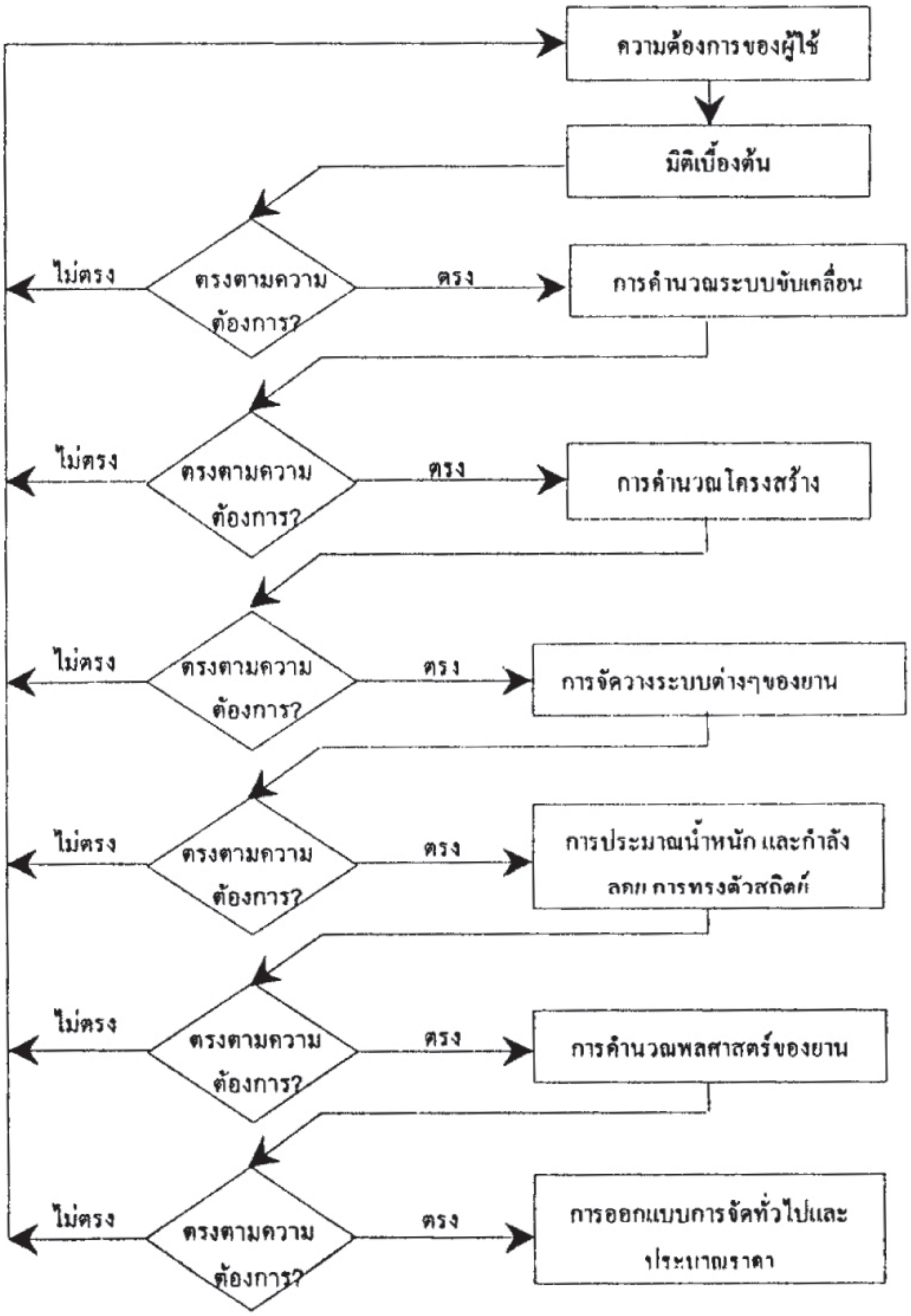
ระบบที่มีความสลับซับซ้อนดำเนินการโดยการหาข้อมูลจากต่างประเทศ เช่น ระบบการหายใจ ระบบการหาที่เรือใต้น้ำ รวมถึงระบบสื่อสาร นอกจากนั้นเป็นการออกแบบการจัดทั่วไป (General Arrangement) และการประมาณราคา เพื่อจะพิจารณาความเป็นไปได้และความเหมาะสมว่า สมควรจะดำเนินการต่อยานใต้น้ำขนาดเล็กขึ้นเองภายในประเทศหรือไม่

ABSTRACT

***This paper** is a part of feasibility study for building submersible vessel in Thailand. Most of basic design have been done with in the capability limit of Local Thai Dockyard. The information of some complicated systems such as ventilation, communication and underwater positioning will be acquired from abroad. Then, the design of general arrangement and the budget estimation of the submersible vessel are obtained. Finally, the analysis of above results will indicate whether it is feasible and suitable to build such vessel in Thailand.*

1. คำนำ

ประเทศไทยเคยมีเรือดำน้ำใช้ปฏิบัติภารกิจมาเป็นเวลานาน จวบจนในปัจจุบันนี้ความรู้และเทคโนโลยีได้สูญหายไปพร้อมกับการปลดระวางประจำการของเรือดำน้ำดังกล่าว ในขณะที่ประเทศต่าง ๆ รวมทั้งประเทศในกลุ่มอาเซียนได้ตระหนักถึงความสำคัญของเรือดำน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการทหาร และในด้านพลเรือน โดยเริ่มที่จะจัดหามาเป็นของตนเอง ประกอบกับเทคโนโลยีพื้นฐานของเรือดำน้ำนั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเรือดำน้ำขนาดเล็กหรือยานใต้น้ำ เพื่อใช้ในกิจการพลเรือนอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 1 Design Flow Chart

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างยานใต้น้ำขึ้นเองในประเทศ โดยแบ่งการดำเนินการเป็น 2 เฟส คือ ในช่วงเฟสแรกจะเป็นโครงการศึกษาความเป็นไปได้ของการต่อยานใต้น้ำขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นการออกแบบในเบื้องต้น (Preliminary Design) การประมาณราคา (Budget Estimation) และพิจารณาถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสม ตลอดจนความคุ้มค่าที่จะดำเนินการ ระยะเวลาในการดำเนินการ 1 ปี คือตั้งแต่ ต.ค. 45 ถึง ต.ค. 46 ซึ่งในเฟสที่ 2 จะดำเนินการเมื่อได้ข้อพิจารณาจากเฟสหนึ่งว่ามีความเหมาะสมและคุ้มค่าที่จะดำเนินการต่อยานใต้น้ำในประเทศไทย จะเป็นการออกแบบรายละเอียดและจัดหาอุปกรณ์รวมถึงการทดลองเรือ (Sea Trial) [6]

บทความทางวิชาการฉบับนี้จะครอบคลุมถึงการออกแบบพื้นฐานในขั้นการออกแบบเบื้องต้น โดยมีการใช้การคำนวณจากสูตรสำเร็จ (Empirical Formula) รวมถึงการใช้ Computer Program ในการตรวจสอบผล ในรูปภาพที่ 1 จะเป็น Flow Chart ที่ใช้เป็นขั้นตอนในการออกแบบพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การจัดทั่วไป รวมทั้งการประมาณราคาของยานใต้น้ำที่จะต่อขึ้นในประเทศ

2 รายละเอียดการออกแบบในเบื้องต้น

2.1 ความต้องการของผู้ใช้ (Requirements)

จากการประชุมร่วมกันระหว่างผู้วิจัย สำนักงานวิจัยและพัฒนาทางทหารกลาโหม และสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหารกองทัพเรือ ได้มีแนวความคิดที่จะสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็กครอบคลุมพื้นฐานการทำงานหลักของเรือดำน้ำทั่วไป การจะนำไปใช้ในกิจการอื่น ๆ จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้ อาทิเช่น ทางการทหารต้องนำไปประยุกต์ติดระบบอาวุธ เป็นต้น และได้กำหนดความต้องการดังนี้คือ[6]

- *บรรทุกผู้โดยสาร 3-5 นาย*
- *ดำน้ำลึกที่ปฏิบัติการ (Operating Depth) 50 เมตร*
- *ดำน้ำลึกทำลาย (Collapse Depth) 100 เมตร*
- *ความเร็วใต้น้ำประมาณ 5 นอต*
- *ระยะปฏิบัติการใต้น้ำ 3-5 ชั่วโมง*

2.2 มิติเบื้องต้น (Preliminary Dimensions)

จากความต้องการของผู้ใช้และการตรวจสอบข้อมูลทางสถิติของยานใต้น้ำที่สร้างกันในต่างประเทศ[4] สามารถกำหนดเป็นมิติในเบื้องต้นของยานใต้น้ำได้ดังนี้คือ

ความยาวตลอดลำ (Length Overall)	8.05 เมตร
ความยาวตัวเรือรับแรงกด (Length of Pressure Hull)	6.80 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของยาน (Diameter)	1.80 เมตร
ถังบัลลาส 2 ถัง (2 Ballast Tanks)	0.6 x 6 เมตร

ระวางขับน้ำผิวน้ำ (Surface Displacement) มีค่าเท่ากับ [4]

93-86% Full Buoyancy

โดยที่ Full Buoyancy = น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าเรือ

ดังนั้นระวางขับผิวน้ำจะมีค่าเท่ากับ

= 18.06 tons for 93% of Full Buoyancy

= 16.71 tons for 86% of Full Buoyancy

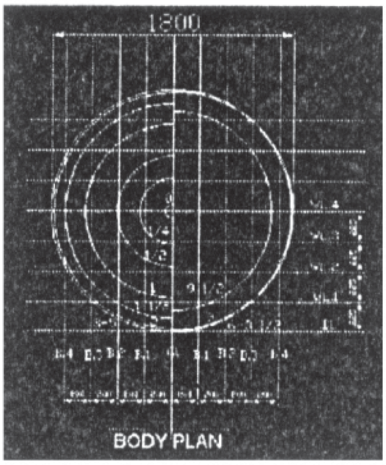
Main Ballast System ควรมีค่า 0.1 - 0.15 of Surface Displacement

ดังนั้น ระวางขับน้ำใต้น้ำ (Submerged Displacement) จะมีค่าเท่ากับ

= 18.37 - 19.21 for 16.7 tons

= 19.87 - 20.78 for 18.06 tons

เมื่อกำหนดมิติโดยใช้ระวางขับน้ำผิวน้ำ 93% ของ Full Buoyancy Main Ballast System ประมาณ 0.15 ของระวางขับผิวน้ำจะได้ค่าระวางขับน้ำผิวน้ำประมาณ 18.06 tons และระวางขับน้ำใต้น้ำประมาณ 20.78 tons รูปร่างลักษณะของตัวเรือ (Hull Form) ได้ดำเนินการออกแบบโดยเขียนเป็นลายเส้นตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลายเส้นของยานใต้น้ำ

2.3 การคำนวณระบบขับเคลื่อน (Calculation of Propulsion System)[1, 2]

เมื่อยานใต้น้ำถูกขับเคลื่อนใต้น้ำด้วยความเร็วตามที่ออกแบบไว้ จะเกิดแรงต้าน (Resistance) ขึ้นโดยมีองค์ประกอบ 2 อย่างร่วมกัน คือ

2.3.1 <u>แรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทาน</u> (Friction) โดยค่า Friction Coefficient หาจากสูตรสำเร็จของ ITTC (International Towing Tank Conference) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$C_f = \frac{0.075}{\log_{10}(Re - 2)^2} \qquad (1)$$

เมื่อ Re = Reynold Number = $\frac{vL}{\gamma}$

v = *ความเร็วของยานใต้น้ำ*

L = *ความยาวของยานใต้น้ำ*

γ = *Kinematics Viscosity of Fluid*

2.3.2 <u>แรงต้านที่เกิดขึ้นจากแรงกดของน้ำรอบตัวเรือ</u> (Form Drag) ค่า Drag Coefficient, C_d หาจากหน้าตัดรูปทรงจากพื้นฐาน Fluid Dynamics (ใช้ค่า C_d เท่ากับ 0.42)

เพื่อให้เรือได้ความเร็วตามต้องการ แรง Thrust หรือ Effective Horse Power จะต้องเท่ากับหรือมากกว่าแรงต้านดังสมการที่ 2 และ 3

$$T = 0.5\,(C_f + C_d)\,\rho A V^2 \qquad (2)$$

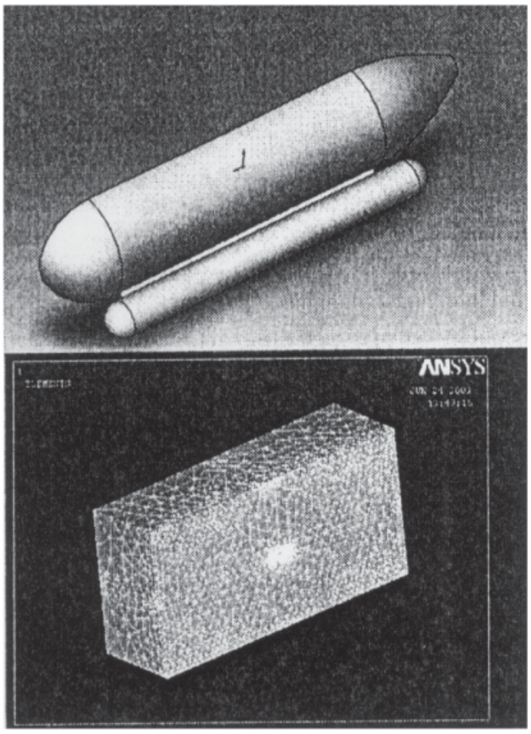
โดยที่ A = *Wetted Surface Area, Frontal Area*

ρ = *ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ*

V = *ความเร็วที่ออกแบบ*

$$EHP = T\,V \qquad (3)$$

ค่า EHP ที่คำนวณได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบผลกับการใช้คอมพิวเตอร์คำนวณจาก CFD Software ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 1



รูปที่ 3 การหาแรงต้านด้วย CFD

จากผลลัพธ์ค่า EHP ที่ได้จากการคำนวณมีค่า 15.31 KW และจาก CFD เท่ากับ 17.6 KW

time (s)	Drag haft model(N)	Drag full model (N)	HP
0.39271	3819	7638	25.59651
0.47459	3452	6904	23.13673
0.55812	3341	6682	22.39276
0.58343	3187	6374	21.36059
1.7503	2863	5726	19.18901
2.9172	2728	5456	18.28418
3.8106	2720	5440	18.23056
4.7206	2674	5348	17.92225
5.6366	2650	5300	17.76139
6.5542	2636	5272	17.66756
7.4719	2630	5260	17.62735

ตารางที่ 1 แสดงค่า Drag และ แรงม้า

2.4 การออกแบบใบจักร (Propeller Design)

ใบจักรคืออุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนค่า Torque ของมอเตอร์ให้กลายเป็น Thrust ในการผลักยานใต้น้ำเพื่อจะเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้น การออกแบบใบจักรจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโมเดลใบจักรจำลอง (Scale Model) ในอุโมงค์คาวิเตชั่น (Cavitation Tunnel) ข้อมูลจากการทดลองที่ได้เรียกว่า Open Water Tests โดยยังไม่คำนึงผลกระทบที่เกิดจากตัวเรือ ค่า Coefficients ที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

$$k_T = \frac{T}{\rho d^4 n^2} \quad (4)$$

$$k_Q = \frac{Q}{\rho d^5 n^2} \quad (5)$$

$$J = \frac{V_A}{nd} \quad (6)$$

$$\eta_o = \frac{k_T J}{2\pi k_Q} \quad (7)$$

โดยที่ k_T = *Thrust Coefficient*

k_Q = *Torque Coefficient*

J = *Advance Coefficient*

η_o = *Open-water Efficiency*

T = *Thrust*

Q = *Torque*

d = *Propeller Diameter*

n = *Propeller Revolution*

ρ = *Water Density*

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4 คุณสมบัติของใบจักรที่ออกแบบสามารถคำนวณได้โดยอาศัย Chart ตามรูป โดยกำหนดให้ใบจักรมี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.8 เมตร

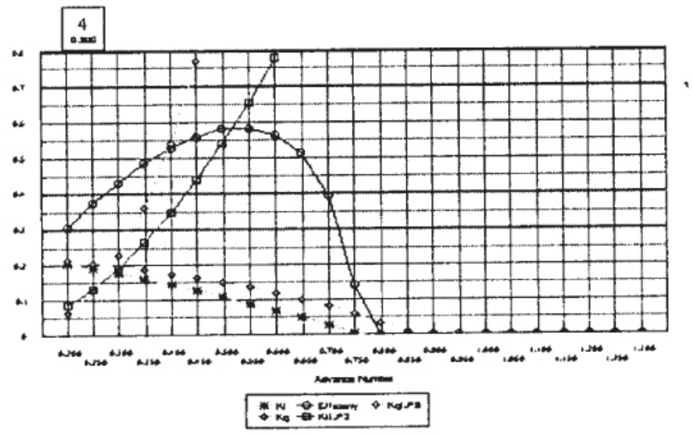
จำนวนปีกใบจักร = 4 ปีก

ค่า Blade Area Ratio = 0.3

Pitch/Diameter = 0.65

จำนวนรอบเพลา = 520 รอบต่อนาที

ประสิทธิภาพใบจักร (η_O) = 40.9 %



รูปที่ 4 Open Water Test Curve (k_T ,k_QCurve)

(Hull and Propeller Interaction)

เมื่อนำตัวเรือ (Hull) เข้ามาพิจารณา ความเร็วของน้ำที่ลดลงเมื่อผ่านตัวเรือและเข้าสู่ใบจักร ส่วนของความเร็วที่ลดลงเรียกว่า Wake Fraction, ω, และขณะเดียวกัน Thrust ที่ผลิตใบจักรจะต้องมากกว่า Resistance ที่เกิดขึ้นของตัวเรือ ส่วนของ Thrust ที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า Thrust Deduction, t,

ค่า Hull Efficiency (η_H) จะมีค่าเท่ากับ $\dfrac{(1 - t)}{(1 - \omega)}$

ค่า t, ω จะหาจากสถิติที่รวบรวมไว้ [4]

ค่า BHP เพื่อจะนำไปหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในระบบ Propulsion จะหาได้จาก

$$BHP = \eta_H \eta_O \eta_R \eta_M EHP \qquad (8)$$

เมื่อ BHP = *Brake Horse Power*

η_H = *Hull Efficiency*

η_O = *Rotative Efficiency* ≈ 1

η_R = *Mechanical Efficiency* ≈ 0.8

ดังนั้นมอเตอร์ซึ่งสามารถจะทำให้ยานทำความเร็วได้ประมาณ 5 นอต จะต้องมีขนาด