

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก

Feasibility for Building Submersible Vessel Project

พงศ์สรร ถวิลประวีต¹ อภิชา จารุพันธ์² อรรถสิทธิ์ พงศ์เกษตรกรรม³ ดนัย ภู่ออด⁴
สาขาวิชาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา,
199 ถนนสุขุมวิท, ศรีราชา, ชลบุรี, 20230^{1,2}
กรมอุทกหารเรือ ถนนอรุณอมรินทร์, เขตบางกอกน้อย, กรุงเทพมหานคร³ สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ⁴

Pongsan Twinprawate¹ Apicha Jaruphan² Artthasit Pongkasetkum³ Tanai Purod⁴

Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University at Si Racha Campus,
199 Sukumvit Road, Si Racha, Chonburi, 20230^{1,2}

Royal Thai Naval Dockyard Bangkok³ Naval Research and Development Office Bangkok⁴

บทคัดย่อ

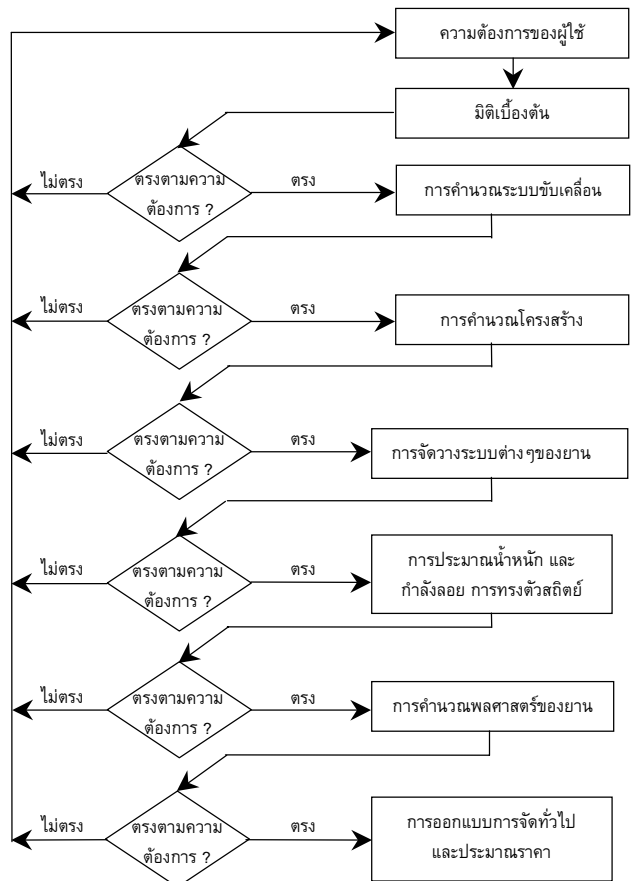
บทความทางวิชาการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก การออกแบบพื้นฐานของยานใต้น้ำนั้น จะดำเนินการออกแบบโดยคำนึงถึงขีดความสามารถของอุทกเรือภายในประเทศ ในส่วนของงานระบบที่มีความซับซ้อนดำเนินการโดยการหาข้อมูลจากต่างประเทศ เช่น ระบบการหายใจ ระบบการหาที่เรือใต้น้ำ รวมถึงระบบสื่อสาร นอกจากนี้เป็นการออกแบบการจัดทั่วไป (General Arrangement) และการประมาณราคา เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และความเหมาะสมว่า สมควรจะดำเนินการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็กขึ้นเองภายในประเทศหรือไม่

ABSTRACT

This paper is the part of feasibility study for building submersible vessel in Thailand. Most of basic design has 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.

บทนำ

ประเทศไทยเคยมีเรือดำน้ำใช้ปฏิบัติการมาเป็นเวลานาน จวบจนในปัจจุบันนี้ความรู้และเทคโนโลยีได้สูญหายไปพร้อมกับการปลดระวางประจำการของเรือดำน้ำดังกล่าว ในขณะที่ประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศในกลุ่มอาเซียนได้ตระหนักถึงความสำคัญของเรือดำน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการทหาร และในด้านพลเรือน โดยเริ่มที่จะจัดหามาเป็นของตนเอง ประกอบกับเทคโนโลยีพื้นฐานของเรือดำน้ำนั้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเรือดำน้ำขนาดเล็กหรือยานใต้น้ำ เพื่อใช้ในกิจการพลเรือนอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 1 Design Flow Chart

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างยานใต้น้ำขึ้นเองในประเทศ โดยแบ่งการดำเนินการเป็น 2 เฟส คือ ในช่วงเฟสแรกจะเป็นโครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นการออกแบบในเบื้องต้น (Preliminary Design) การประมาณราคา (Budget Estimation) และพิจารณาถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสม ตลอดจนความคุ้มค่าที่จะดำเนินการ ระยะเวลาในการดำเนิน

การ 1 ปี คือตั้งแต่ ต.ค. 45 ถึง ต.ค. 46 ซึ่งในเฟสที่ 2 จะดำเนินการเมื่อได้ข้อพิจารณาจากเฟสหนึ่งว่ามีความเหมาะสมและคุ้มค่าที่จะดำเนินการต่อขานใต้น้ำในประเทศไทย จะเป็นการออกแบบรายละเอียด และจัดหาอุปกรณ์รวมถึงการทดลองเรือ (Sea Trial)^[6]

บทความทางวิชาการฉบับนี้ จะครอบคลุมถึงการออกแบบพื้นฐานในขั้นการออกแบบเบื้องต้น โดยมีการใช้การคำนวณจากสูตรสำเร็จ (Empirical Formula) รวมถึงการใช้ Computer Program ในการตรวจสอบผล ในรูปภาพที่ 1 จะเป็น Flow Chart ที่ใช้เป็นขั้นตอนในการออกแบบพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การจัดทำไปรวมทั้งการประมาณราคาของขานใต้น้ำที่จะต่อขึ้นในประเทศ

2 รายละเอียดการออกแบบเบื้องต้น

2.1 ความต้องการของผู้ใช้ (Requirements)

จากการประชุมร่วมกันระหว่างผู้วิจัย สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหารกลาโหม และสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ ได้มีแนวความคิดที่จะสร้างขานใต้น้ำขนาดเล็กครอบคลุมพื้นฐานการทำงานหลักของเรือดำน้ำทั่วไป การจะนำไปใช้ในกิจการอื่นๆ จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้ อาทิเช่น ทางทหารต้องนำไปประยุกต์ติดระบบอาวุธ 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)

จากความต้องการของผู้ใช้และการตรวจสอบข้อมูลทางสถิติของขานใต้น้ำที่สร้างกันในต่างประเทศ^[4] สามารถกำหนดเป็นมิติในเบื้องต้นของขานใต้น้ำได้ดังนี้คือ

| | |
|---|--------------|
| ความยาวตลอดลำ (Length Overall) | 8.05 เมตร |
| ความยาวตัวเรือรับแรงกด (Length of Pressure Hull) | 6.80 เมตร |
| เส้นผ่านศูนย์กลางของขาน (Diameter) | 1.80 เมตร |
| ถังบัลลัส 2 ถัง (2 Ballast Tanks) | 0.6 x 6 เมตร |
| ระวางขับน้ำผิวหน้า (Surface Displacement) มีค่าเท่ากับ ^[4] | |

93-86% Full Buoyancy

โดยที่ Full Buoyancy = น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าเรือ ดังนั้นระวางขับน้ำผิวหน้าจะมีค่าเท่ากับ

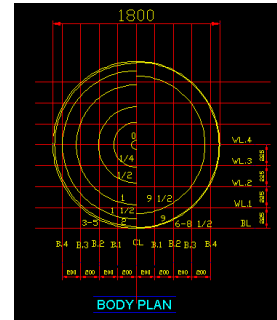
- = 18.06 tons for 93% of Full Buoyancy
- = 16.71 tons for 86% of Full Buoyancy

Main Ballast System ควรมีค่า 0.1 - 0.15 of Surface Displacement ดังนั้น ระวางขับน้ำใต้น้ำ (Submerge Displacement) จะมีค่าเท่ากับ

- = 19.87 – 20.78 for 18.06 tons
- = 18.38 – 19.21 for 16.71 tons

เมื่อกำหนดมิติโดยใช้ระวางขับน้ำผิวหน้า 93% ของ Full Buoyancy Main Ballast System ประมาณ 0.15 ของระวางขับน้ำผิวหน้าจะได้ค่า

ระวางขับน้ำผิวหน้าประมาณ 18.06 tons และระวางขับน้ำใต้น้ำประมาณ 20.78 tons



รูปที่ 2 ลายเส้นของขานใต้น้ำ

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

เมื่อขานใต้น้ำถูกขับเคลื่อนใต้น้ำด้วยความเร็วตามที่ต้องการ เมื่อขานใต้น้ำถูกขับเคลื่อนใต้น้ำด้วยความเร็วตามที่ต้องการ จะเกิดแรงต้าน (Resistance) ขึ้นโดยมีองค์ประกอบ 2 อย่างร่วมกัน คือ

2.3.1 แรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทาน (Friction) โดยค่า Friction Coefficient หาจากสูตรสำเร็จของ ITTC (International Towing Tank Conference) ดังแสดงในสมการที่ 1

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

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

- v = ความเร็วของขานใต้น้ำ
- L = ความยาวของขานใต้น้ำ
- γ = Kinematics Viscosity of Fluid

2.3.2 แรงต้านที่เกิดขึ้นจากแรงกดของน้ำรอบตัวเรือ (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

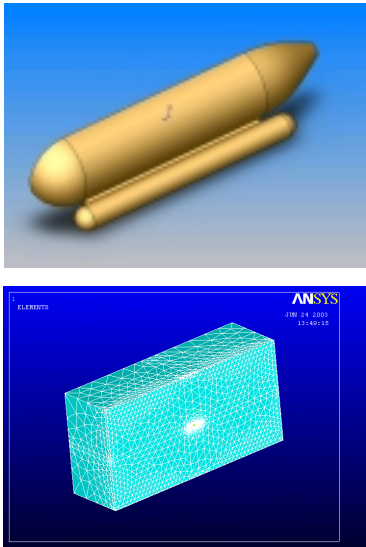
$$T = 0.5(C_f + C_d)\rho AV^2 \quad (2)$$

- โดยที่ A = Wetted Surface Area, Frontal Area
- ρ = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ
- V = ความเร็วที่ออกแบบ

$$EHP = TV \quad (3)$$

- T = Thrust
- V = ความเร็วของขานใต้น้ำ

ค่า EHP ที่คำนวณได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับการใช้คอมพิวเตอร์คำนวณจาก CFD Software ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 1



รูปที่ 3 การหาแรงต้านด้วย CFD

จากผลลัพธ์ค่า EHP ที่ได้จากการคำนวณมีค่า 15.31 KW และจาก CFD เท่ากับ 17.6 KW

ตารางที่ 1 แสดงค่า Drag และ แรงม้า

| 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 |

2.4 การออกแบบใบจักร (Propeller Design)

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

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

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

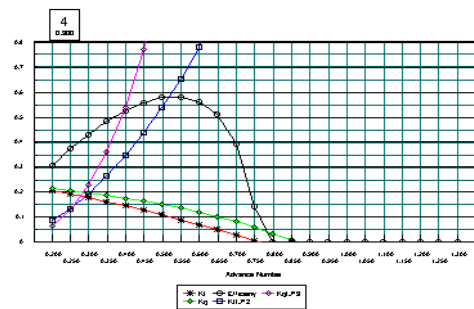
$$J = \frac{V_A}{nd} \quad (6)$$

$$\eta_0 = \frac{k_T J}{2\pi k_Q} \quad (7)$$

โดยที่ k_T = Thrust Coefficient
 k_Q = Torque Coefficient
 J = Advance Coefficient
 η_0 = 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
- จำนวนรอบเพลลา = 520 รอบต่อนาที
- ประสิทธิภาพใบจักร (η_0) = 40.9 %



รูปที่ 4 Open Water Test Curve (k_T , k_Q Curve)

(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 $\frac{(1-t)}{(1-\omega)}$

ค่า t, ω จะหาจากสถิติที่รวบรวมไว้^[4]

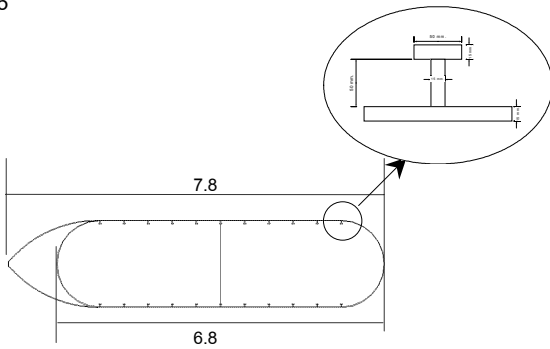
ค่า BHP เพื่อจะนำไปหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในระบบ Propulsion จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ BHP} &= \eta_H \eta_o \eta_R \eta_M \text{EHP} & (8) \\ \text{เมื่อ BHP} &= \text{Brake Horse Power} \\ \eta_H &= \text{Hull Efficiency} \\ \eta_o &= \text{Rotative Efficiency} \approx 1 \\ \eta_R &= \text{Mechanical Efficiency} \approx 0.8 \end{aligned}$$

ดังนั้นมอเตอร์ซึ่งสามารถจะทำให้ยานทำความเร็วได้ประมาณ 5 น็อต จะต้องมีความขนาดประมาณ 40 KW

2.5 การคำนวณโครงสร้าง (Calculation of Structure)^[3]

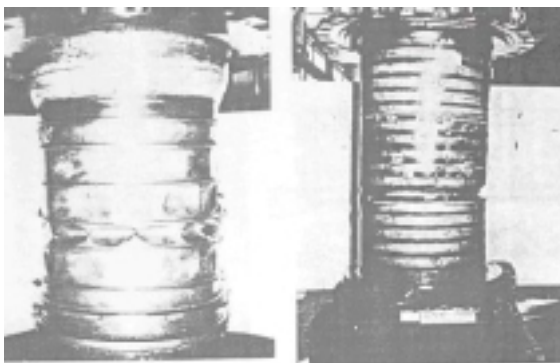
โครงสร้างของยานใต้น้ำจะถูกออกแบบเพื่อให้ทนต่อแรงกดดันของน้ำตามความลึกที่กำหนดไว้รูปแบบของยานใต้น้ำ จะเป็นลักษณะของทรงกระบอก (Cylindrical Type) ดังนั้นโครงสร้างจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือเปลือกเรือ (Shell) และ กวงวงแหวน (Ring Frame) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปลือกเรือและกวงวงแหวน

การพังของ Pressure Hull (Collapse of Pressure Hull)

2.5.1 ความเสียหายที่เกิดจากการยุบตัวของเปลือกเรือ (Failure by Bucking of Shell)



(ก)

(ข)

รูปที่ 6 (ก) การพังของ Pressure Hull แบบ bucking และ

(ข) การพังของ Pressure Hull แบบ yielding (ภาพจาก [3])

สาเหตุ เกิดจากกวงวงแหวนมีความแข็งแรงแต่เปลือกเรือบางเกินไปทำให้ไม่สามารถที่จะรับแรงกดของน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) ซึ่งความดันวิกฤตที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้จากสูตรสำเร็จดังแสดงในสมการที่ 9

$$P_c = \frac{2.42E \left(\frac{t}{D}\right)^{5/2}}{(1-\mu^2)^{3/4} \left[\frac{L}{D} - 0.43 \left(\frac{t}{D}\right)^{1/2}\right]} \quad (9)$$

เมื่อ P_c = Collapse pressure, psi
 E = Young's modulus of material, psi
 μ = Poisson's ratio
 D = Diameter to midplane of shell, in
 L = Unsupported length of shell plating, in

P_c ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า Hydrostatic Pressure โครงสร้างของยานใต้น้ำจะปลอดภัย

2.5.2 ความเสียหายเกิดจากการล้าของเปลือกเรือ (Failure by Yielding of Shell)

สาเหตุ เนื่องจากเปลือกเรือถูกออกแบบมาให้มีความหนาที่มากกว่ากวงเรือล้าตัวมีแนวโน้มที่จะเกิดใน 2 ตำแหน่ง คือเปลือกเรือกึ่งกลางระหว่างกวงวงแหวน และบริเวณด้านผิวของกวงวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) ความดันวิกฤตคือ

บริเวณกวงวงแหวน

$$P_{cy} = \frac{2\sigma_y t}{D \left[\frac{0.85 - \beta}{1 - \beta} \right]} \quad (10)$$

เปลือกเรือกึ่งกลางระหว่างกวงวงแหวน

$$P_{cy} = \frac{2\sigma_y t}{D \left[\frac{0.85 - \beta}{1 - \beta} \right]} \quad (11)$$

$$B = \frac{bt}{A + bt} \quad (12)$$

โดยที่ σ_y = Yield stress of material, psi
 b = Width of faying flange, in
 t = Shell thickness, in
 A = Frame area, sq in

$$\beta = \frac{2N}{A + bt} \left[\frac{1}{3(1-\mu^2)} \right]^{1/4} (Rt^3)^{1/2} \quad (13)$$

$$N = \frac{\cosh \theta - \cos \theta}{\sinh \theta - \sin \theta} \quad (14)$$

$$\theta = L \left[\frac{3(1-\mu^2)}{R^2 t^2} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (15)$$

$$K = \frac{\sinh \theta - \sin \theta}{\sinh \theta + \sin \theta} \quad (16)$$

$$H = H_M + \mu H_E \quad (17)$$

$$H_M = -2 \left[\frac{\sinh \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} + \cosh \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2}}{\sinh \theta + \sin \theta} \right] \quad (18)$$

$$H_E = -2 \left[\frac{3}{1-\mu^2} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\sinh \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} - \cosh \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2}}{\sinh \theta + \sin \theta} \right] \quad (19)$$

P_{cy} ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า Hydrostatic Pressure

2.5.3 ความเสียหายเกิดจากการไร้เสถียรภาพทั่วไป (Failure by General Instability)



รูปที่ 7 การพังของ Pressure Hull แบบ General instability (ภาพจาก [3])

สาเหตุ เกิดจากการยุบตัวของเปลือกเรือและกวงแหวน ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างของยานใต้น้ำ ไม่สามารถทนแรงกดดันของน้ำได้ในภาพรวม ดังแสดงในรูปที่ 7 ความดันวิกฤติหาได้จาก

$$P_{cr} = \frac{Et}{R} \left[\frac{m^4}{\left(n^2 - 1 + \frac{m^2}{2} \right) \left(n^2 + m^2 \right)^2} \right] + \left[\frac{(n^2 - 1)EI}{R^3 L} \right] \quad (20)$$

โดยที่

$$m = \frac{\pi R}{L_S}$$

L_S = Length between bulkhead

n = number of circumferential lobes

I = Inertia of frame including one frame spacing of shell plating

P_{cr} ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า Hydrostatic Pressure

ขนาดที่ใช้ในการออกแบบ

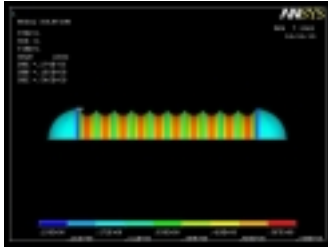
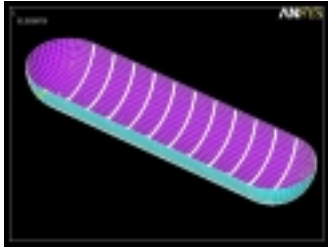
การคำนวณโดยใช้สูตรสำเร็จข้างต้นได้กำหนดค่าเปลือกเรือที่ 10, 12 มม. 15 มม. และ 20 มม. ตามลำดับ ขนาดของกวงแหวน 50 x 15 x 50 x 15 โดยมีระยะห่างระหว่าง Frame ที่ 25 ซม. และ 50 ซม. ตามลำดับ จากนั้นเป็นการตรวจสอบผลอีกครั้งด้วย Finite Element Method โดยใช้ Program ANSYS ดังแสดงในรูปที่ 8 และตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณโดยใช้สูตรสำเร็จที่ระยะระหว่างเฟรม 50 cm

| t(in) | n(mode) | Pyframe(psi) | Pymid(psi) | Pb(psi) | Pcr(psi) |
|-------|---------|--------------|------------|----------|----------|
| 0.393 | 2 | 364.8346 | 385.8764 | 707.9019 | 595.7139 |
| 0.47 | 2 | 450.3855 | 458.7413 | 1121.619 | 713.508 |
| 0.6 | 2 | 599.7727 | 584.4937 | 2106.84 | 913.4835 |
| 0.786 | 2 | 823.9391 | 771.7753 | 4245.634 | 1198.082 |
| 0.393 | 3 | 364.8346 | 385.8764 | 707.9019 | 147.8277 |
| 0.47 | 3 | 450.3855 | 458.7413 | 1121.619 | 179.6624 |
| 0.6 | 3 | 599.7727 | 584.4937 | 2106.84 | 236.3488 |
| 0.786 | 3 | 823.9391 | 771.7753 | 4245.634 | 313.3995 |
| 0.393 | 4 | 364.8346 | 385.8764 | 707.9019 | 198.3299 |
| 0.47 | 4 | 450.3855 | 458.7413 | 1121.619 | 242.5717 |
| 0.6 | 4 | 599.7727 | 584.4937 | 2106.84 | 322.777 |
| 0.786 | 4 | 823.9391 | 771.7753 | 4245.634 | 429.9301 |

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณโดยใช้สูตรสำเร็จที่ระยะระหว่างเฟรม 25 cm

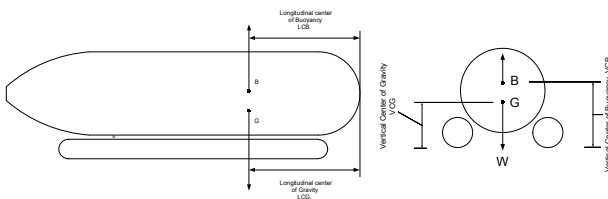
| t(in) | n(mode) | Pyframe(psi) | Pymid(psi) | Pb(psi) | Pcr(psi) |
|-------|---------|--------------|------------|----------|----------|
| 0.393 | 2 | 367.6291 | 415.525 | 1640.786 | 595.7139 |
| 0.47 | 2 | 465.1722 | 512.6755 | 2645.016 | 713.508 |
| 0.6 | 2 | 647.2817 | 680.7208 | 5107.988 | 913.4835 |
| 0.786 | 2 | 937.7534 | 923.5161 | 10688.79 | 1198.082 |
| 0.393 | 3 | 367.6291 | 415.525 | 1640.786 | 147.8277 |
| 0.47 | 3 | 465.1722 | 512.6755 | 2645.016 | 179.6624 |
| 0.6 | 3 | 647.2817 | 680.7208 | 5107.988 | 236.3488 |
| 0.786 | 3 | 937.7534 | 923.5161 | 10688.79 | 313.3995 |
| 0.393 | 4 | 367.6291 | 415.525 | 1640.786 | 198.3299 |
| 0.47 | 4 | 465.1722 | 512.6755 | 2645.016 | 242.5717 |
| 0.6 | 4 | 647.2817 | 680.7208 | 5107.988 | 322.777 |
| 0.786 | 4 | 937.7534 | 923.5161 | 10688.79 | 430.3028 |



รูปที่ 8 การคำนวณด้วย Program Ansys

2.6 การจัดวางระบบต่าง ๆ (System Arrangement)

อุปกรณ์และระบบต่างๆ จะถูกจัดวางในตัวเรือที่ออกแบบโดยที่ จะพยายามดึงให้จุด Center Gravity (CG) โดยรวมของยานใต้น้ำลงต่ำ ที่สุด ในทางหน้าตัด (Transverse Plan) และพยายามให้เกิด Trim ของ เรือน้อยที่สุดในทางตามยาว (Longitudinal Plan) ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 Stable Condition (Positive Stability)

อุปกรณ์และระบบที่สำคัญสามารถจำแนกได้คือ

1. ระบบบัลลัสหลัก (Main Ballast System)
2. ระบบขับเคลื่อน (Propulsion System)
3. ระบบการระบายอากาศและช่วยหายใจ (Ventilation and Breathing System)
4. ระบบการรักษาความดัน (Pressurized System)
5. ระบบไฟฟ้าและสื่อสาร (Electrical and Communication Systems)
6. ระบบเครื่องจักรช่วยอื่นๆ (Auxiliary System)

การจัดวางระบบต่างๆนี้ จะต้องทำให้จุด CG ต่ำที่สุดเท่าที่สามารถ กระทำได้ และค่า $LCB \approx LCG$

2.7 การประมาณน้ำหนัก กำลังลอย และการทรงตัว (Weight, Buoyancy Estimation and Stability)

จากการจัดวางระบบสามารถนำไปสู่การหาค่าจุด Center of Gravity, CG อันเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะนำไปสู่การหาการทรงตัว

ของยานต่อไป การดำเนินการในการหาจุด CG เบื้องต้นสามารถกระทำ ได้โดยการใช้ตารางช่วย และนำค่าที่ได้จากตารางไปดำเนินการหาค่า จุด CG ของยานใต้น้ำในทางขวาง (VCG) และทางยาว (LCG) ดัง สมการที่ 21 และ 22

$$VCG = \frac{\sum W_x V}{\sum W} \quad (21)$$

$$LCG = \frac{\sum W_x L}{\sum W} \quad (22)$$

โดยที่

$\sum W_x V$ = ผลคูณระหว่างน้ำหนักและค่า VCG ของแต่ละวัสดุอุปกรณ์

$\sum W_x L$ = ผลคูณระหว่างน้ำหนักและค่า LCG ของแต่ละวัสดุอุปกรณ์

$\sum W$ = ผลรวมของน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์

สำหรับยานใต้น้ำที่ออกแบบในการออกแบบขั้นต้น

ค่าผลรวมของน้ำหนัก 17.75 tons

ค่า LCG = 423.73 cm. ค่า LCB = 425 cm. วัดจากท้ายเรือ

ค่า VCG = 78.33 cm. ค่า VCB = 85 cm. วัดจาก Base Line

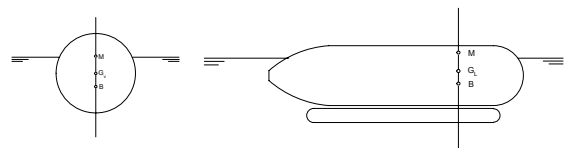
ระวางขับน้ำผิวน้ำ 17.75 tons

ระวางขับน้ำใต้น้ำ 20.8 tons

ค่า Buoyancy Force 19.4 tons

2.8 การทรงตัวของยานใต้น้ำ (Submersible Vessel Stability)^[5]

Surface Stability การทรงตัวเมื่อยานปฏิบัติภารกิจอยู่บนผิวน้ำ จะคล้ายคลึงและมืองค์ประกอบที่สำคัญโดยทั่วไปเหมือนเรือผิวน้ำเพียง แต่รูปร่างลักษณะของตัวเรือแตกต่างกันเท่านั้น ค่าสำคัญที่นำมา พิจารณาในการทรงตัวของยานใต้น้ำคือ



รูปที่ 10 Surface Stability

จุด M = จุดเมตาเซนตริก (Metacentric) หรือจุดตัดเมื่อค่า G และ B เคลื่อนที่ไปเมื่อยานโคลงไปมา

จุด B = จุดศูนย์กลางกำลังลอย (Center of Buoyancy)

จุด G_v = จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity) จุดจะมีการเปลี่ยนแปลง ไปเมื่อมีการถ่ายเทน้ำหนักโมเมนต์ที่จะทำให้ยานกลับคืนสู่สภาพปกติ หลังจากเอียงไปเป็นมุม θ หาได้จากสมการที่ 23

$$\text{โมเมนต์คืนกลับ (Righting Moment)} = W \overline{G_v M} \sin \theta \quad (23)$$

โดยที่ W = น้ำหนักหรือระวางขับน้ำของยานใต้น้ำ

$\overline{G_v M}$ = ระยะทางระหว่างจุด M และจุด G_v

Transition Stability การทรงตัวเมื่อยานใต้น้ำเริ่มจมลงด้วยการเติมน้ำ Ballast จุด M จะค่อยๆลดลง ขณะเดียวกันจุด B จะสูงขึ้น ในส่วนจุด G นั้นจะลดต่ำลงเนื่องจากมีน้ำหนักน้ำของ Ballast เพิ่มขึ้น

Submerged Stability เมื่อยานใต้น้ำจมลงใต้น้ำ จุด B กับจุด M จะกลายเป็นจุดเดียวกัน ค่าของ BG_v จะเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของการทรงตัวใต้น้ำ และจุด G_v ต้องรักษาให้อยู่ใต้จุด M ค่าโมเมนต์ที่ทำให้ยานคืนกลับหาได้จากสมการที่ 24

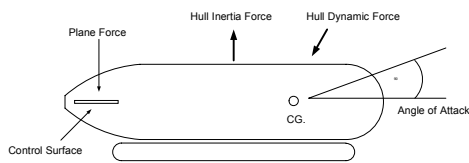
$$\text{โมเมนต์คืนกลับ (Righting Moment)} = W_s \overline{BG_v} \sin \theta \quad (24)$$

ดังนั้นถ้าจุด G_v ต่ำลงมากเท่าใดจะทำให้มีโมเมนต์คืนกลับมากตามขึ้นไปด้วย

การทรงตัวในทางตามยาว (Longitudinal Stability) จะมีลักษณะเช่นเดียวกับในทางตามขวาง ค่า BG_{VL} จะเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของการทรงตัวใต้น้ำของยานใต้น้ำในทางยาวเช่นเดียวกัน

2.9 การควบคุมระดับ (Control Surface)

เมื่อยานใต้น้ำเดินทางในทิศทางเส้นตรงไม่มีแรงจากด้านข้างจนกระทั่งยานใต้น้ำถูกระทบจากแรงภายนอก (Disturbed Force) อาทิเช่น แรงจากหางเสือ หรือกระแส น้ำ ทำให้เกิดมุมปะทะ (Angle of Attack) ขึ้นระหว่างตัวยานใต้น้ำกับการไหลของน้ำดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 Dynamic Stability

จะเกิดแรงและโมเมนต์ขึ้นเรียกว่า Hull Dynamic Force and Moment

ในกรณีที่ยานเดินทางในแนวราบ (Horizontal plane) แรงดังกล่าวจะเกิดบริเวณ $\frac{1}{4}$ ของความยาวตัวยานและทำให้เกิดโมเมนต์ขึ้น จึงมีค่าเท่ากับแรงคูณกับระยะทางของแรงจนถึงจุด CG ค่าแรงและโมเมนต์นี้จะทำให้ยานสร้างอัตราเร่งที่จะเปลี่ยนทิศทางจากเดิม นอกจากนี้ยังทำให้ยานที่อยู่รอบตัวยานมีอัตราเร่งตามไปด้วย

ค่า Inertia ของตัวยานใต้น้ำและน้ำที่อยู่รอบ จะสร้างแรงและโมเมนต์ใหม่เพิ่มขึ้นมาด้านเรียกว่า Hull Inertia Force Moment ถ้ามีค่ามากกว่า Hull Dynamic Force Moment ยานจะกลับมายู่ในทิศทางเดิม แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่ายานจะเดินทางในทิศทางที่เป็นวงกลม (Circular path) ยานใต้น้ำจะไม่มีเสถียรภาพ (Unstable)

ในกรณีที่ยานเดินทางในแนวตั้ง (Vertical Plane) ยานจะเดินทางในทิศทางที่เป็นไซน์ซอซอดอล (Sinusoidal Path) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าโมเมนต์การคืนกลับ (Righting Moment) ของยานใต้น้ำ

องค์ประกอบที่สำคัญในการที่จะควบคุมให้ยานใต้น้ำเดินทางอย่างมีเสถียรภาพ คือ ขนาดและตำแหน่งติดตั้งของส่วนควบคุมระดับด้านท้าย (After Control Surface) ในการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ ส่วนควบคุมระดับด้านท้ายอันได้แก่ หางเสือตั้ง (Rudder) และหางเสือนอน (Stern Plane) จะต้องมีความ Aspect Ratio ค่อนข้างสูง^[3]

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{\text{Chord Length}(c)}{\text{Span}(\ell)} \quad (25)$$

เมื่อส่วนควบคุมระดับเปลี่ยนมุมปะทะ จะสร้างแรงขึ้นตามที่ต้องการแล้ว และทำให้ยานใต้น้ำถูกควบคุมไปในทิศทางตามต้องการ

การออกแบบของหางเสือตั้งและหางเสือนอนจะดำเนินการด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมหรือเพื่อให้แน่นอนยิ่งขึ้นจะมีการทดลองด้วยยานจำลองในอุโมงค์น้ำหรืออุโมงค์ลมต่อไป

2.10 การปรับปรุงการจัดวางทั่วไปและการประมาณราคา

(Refinement of the General Arrangements and Budget

Estimation)

ภายหลังจากที่การออกแบบขั้นพื้นฐานดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว รูปแบบของการจัดวางของผู้โดยสารและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงงานระบบหลักจะถูกนำมาปรับปรุง และนำมาเขียนเป็นแบบการจัดวางทั่วไป (General Arrangement) ของยานใต้น้ำ ผลที่ตามมาทำให้ค่าตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของยานจะเปลี่ยนแปลงไป สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ น้ำหนักและกำลังลอย จะต้องมีความสัมพันธ์กัน ค่า VCG จะต้องต่ำกว่าค่า VCB และค่า LCG จะต้องมีความเท่ากับ LCB ทั้งบนผิวน้ำและใต้น้ำ ความปลอดภัยของยานใต้น้ำเมื่อมีผู้โดยสารเป็นสิ่งสำคัญต้องคำนึงถึง อาทิเช่น การลอยตัวของเรือในกรณีฉุกเฉินนำไปสู่ตำแหน่งการวาง Solid Ballast การหนีออกจากยานใต้น้ำอันนำไปสู่ตำแหน่งการจัดวางฝา Hatch ของยานใต้น้ำเป็นต้น สิ่งดังกล่าวเหล่านี้จะดำเนินการในช่วงการออกแบบการจัดวางทั่วไป

รายการต่างๆ ของวัสดุอุปกรณ์และราคารวมถึงค่า Overhead ของผู้ต่อเรือที่จะเป็นผู้สร้างยานจะถูกนำมาคิดรวมกัน เพื่อประมาณเป็นค่าใช้จ่าย จากนั้นจะมีการเผื่อค่า (Margin) ในส่วนที่เป็นรายละเอียดและอาจจะเกิดขึ้นได้โดยไม่ทราบก่อนประมาณ 15% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ตลอดจนอัตราการแลกเปลี่ยนเงินตราในกรณีที่ต้องสั่งของจากต่างประเทศ

3. สรุป (Conclusions)

การศึกษาความเป็นไปได้ของยานใต้น้ำเป็นการดำเนินการเฟสแรกของงานวิจัยสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็กขึ้นในประเทศ โดยจะคำนวณและออกแบบมิติของยานใต้น้ำ ความแข็งแรง ตลอดจนระบบหลักต่างๆ ที่จำเป็นในยานใต้น้ำ โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 1 ปี ผลที่ได้รับคือจำนวนรายการวัสดุอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นต้องใช้ในการสร้างยานใต้น้ำงบประมาณที่จะต้องใช้จ่ายค่อนข้างแน่นอน ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ของการที่จะสร้างยานใต้น้ำขึ้นเองโดยผู้ต่อเรือในประเทศต่อไป

4. กิตติกรรมประกาศ

ทีมคณะผู้วิจัยจากกรมอุทกหารเรือ สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา และบริษัทยูนิไทยชิปยาร์ด ขอขอบพระคุณในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย โดยสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหารกลาโหม และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติโดยโครงการสมองไหลกลับ ทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี สามารถบรรลุตามจุดประสงค์ตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้

เอกสารอ้างอิง

- (1) Clayton and Bishop, "Mechanics of Marine Vehicles", Gulf Publishing CO., 1982
- (2) Comstock, J.P., "Principles of Naval Architecture", Soc. of Naval Architecture & Marine Engineering, New York, 1967
- (3) Harry A. Jackson, "Fundamentals of Submarine Concept Design", SNAME Transactions, 1992, Vol.100, pp.419-448
- (4) E. Eugene Allmendinger, "Submarine Vehicle Systems Design" SNAME, 1992
- (5) Thomas. C. Gilmer, "Modern Ship Design", The United States Naval Institute, Annapolis, Maryland, July 1972
- (6) สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ. "เอกสารค่าของโครงการวิจัยการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก" เสนอ สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหารกลาโหม, 2546