

โครงการวิจัยเพื่อสร้างต้นแบบยานใต้น้ำสำหรับการฝึกปราบเรือดำน้ำ

The Prototype of Mobile Targets for Antisubmarine Warfare Exercise

วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี¹ สุรศักดิ์ ศรีอรุณ² และ ปองวิทย์ ศิริโพธิ์³

^{1,2} กรมอุทกหารเรือ ถนนอรุณอมรินทร์ บางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

³ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอากาศยาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

Weerawat Wongdontri¹ Surasak Sriaroon² Pongwit Siribodhi³

^{1,2} Naval Dockyard Department Aroonammarin Rd,

Bangkoknoi Bangkok Thailand.

³ Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Paholyothin Rd, Lodyao Jatujuk Bangkok.

บทคัดย่อ

กองทัพเรือจัดให้มีโครงการวิจัย เพื่อสร้างต้นแบบของยานใต้น้ำขนาดเล็กในวงการทหารมีชื่อว่าเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำ ยานใต้น้ำนี้เคลื่อนที่ด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ มีประโยชน์สำหรับการฝึกพนักงานโซนาร์บนเรือผิวน้ำให้มีความชำนาญ ในการค้นหาเรือใต้น้ำยานนี้ จะส่งสัญญาณเสียงใต้น้ำให้ปรากฏบนจอโซนาร์ของเรือผิวน้ำ เหมือนการค้นพบเรือดำน้ำจริง การควบคุมการเคลื่อนที่ใต้น้ำใช้การทำงานของ Pressure Switch ร่วมกับแผ่น FIN มีการนำเทคนิคของวิธี Finite Element มาใช้วิเคราะห์ความต้านทานของน้ำทะเล เพื่อนำไปออกแบบระบบขับเคลื่อนและใช้วิเคราะห์ความเค้น เพื่อนำไปออกแบบโครงสร้างของเป้าฝึก ๆ มีการทำนายลักษณะการเคลื่อนที่ใต้น้ำของเป้าฝึก ๆ ด้วยกรรมวิธีทางตัวเลขอีกด้วย ผลการทดลองการทำงานของเป้าฝึก ๆ ในทะเลยืนยันผลการวิเคราะห์ข้างต้น แต่ต้องมีการปรับปรุงการทำงานของระบบกำเนิดเสียงใต้น้ำ เนื่องจากยังมีประสิทธิภาพไม่สูงพอที่จะนำเป้าฝึก ๆ ไปฝึกทางใช้การได้จริง

Abstract

The Royal Thai Navy has conducted a research project to develop a prototype of Mobile Targets necessary for the Antisubmarine Warfare Exercise. The target is a self – propelled underwater vehicle using batteries as power supply. It will be used in an exercise to make the Sonar man of a surface warship to get more experience in using his sonar equipment to search a submarine in the water. The target is capable to generate water borne noise that gives rise to signal in the Sonar screen similar to the signal from the real submarine. The vertical movement is controlled by pressure switches in conjunction with the target's fins. The Finite Element Analysis has been used to analyze the water resistance needed for propulsion system design and to perform structural analysis needed for target's structural

design. Numerical Analysis has also been used to predict the diving behaviour of the target. The result from the above – mentioned analyses has been confirmed by the real function test of the target in the sea. However the performance of the underwater noise generator was very poor and this must be remedied before putting the target into use.

1. บทนำ

เรือดำน้ำเป็นภัยคุกคามต่อการขนส่งทางทะเล ในยามสงคราม และเป็นเครื่องมือสำหรับการทำงานด้านจารกรรมในยามสงบ กองทัพเรือ ของทุกประเทศพยายามเพิ่มขีดความสามารถของการปราบเรือดำน้ำ ให้อยู่ในระดับสูง หรืออย่างน้อยต้องให้สามารถต่อต้านเรือดำน้ำของประเทศเพื่อนบ้านที่อาจเป็นภัยคุกคามในอนาคตได้ ความยากลำบากของเรือผิวน้ำในการปราบเรือดำน้ำ คือ การค้นหาเรือดำน้ำให้พบแล้วนำเรือเข้าใช้อาวุธทำลาย การค้นหาเป็นขั้นตอนที่ยากลำบากมาก ทางเรือต้องใช้พนักงานโซนาร์ที่มีความชำนาญเป็นอย่างมากความชำนาญที่กล่าวนี้ ต้องได้มาจากการฝึกค้นหาเรือดำน้ำ โดยต้องทำการฝึกที่ต่อเนื่องและใช้เวลานาน การฝึกที่ดีที่สุดคือการนำเรือดำน้ำมารวม โดยให้เรือผิวน้ำเข้าทำการค้นหาแต่ก็มีข้อเสียคืองบประมาณที่ต้องใช้สูง และกองทัพเรือที่ไม่มีเรือดำน้ำอยู่ในประจำการก็จะไม่มีโอกาสฝึกพนักงานโซนาร์จนเกิดความชำนาญอย่างแท้จริงได้ ด้วยเหตุผลนี้ ประเทศที่มีขีดความสามารถด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ จึงทำการผลิตเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำออกมาจำหน่าย มีลักษณะเป็นยานใต้น้ำที่เคลื่อนที่ด้วยตนเอง และมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นโซนาร์ ได้เหมือนกับการค้นพบเรือดำน้ำจริง บทความนี้เป็นผลงานจากงานวิจัย และพัฒนาเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำของกองทัพเรือที่ปิดโครงการไปเมื่อกันยายน 2543

2. คุณลักษณะเฉพาะที่ต้องการของเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำ

2.1 เมื่อตอนเริ่มต้นโครงการวิจัย มีเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำของประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ที่อยู่ในตลาดค้าอาวุธในโลก คือ Mobile Target Mk 38 และใช้อยู่ในสหรัฐอเมริกา เป้าฝึกนี้มีราคาแพงและใช้ได้เพียงครั้งเดียว ใช้แบตเตอรี่น้ำทะเลเป็นต้นกำเนิดพลังงาน เมื่อแบตเตอรี่หมดพลังงานเป้าฝึกจะจมลงก้นทะเลเนื่องจากกองทัพเรือมีงบประมาณจำกัด จึงให้มีโครงการวิจัยเพื่อต้องการพัฒนาเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำที่สามารถเก็บมาใช้ราชการได้เมื่อจบการฝึกแล้ว

2.2 คุณลักษณะเฉพาะของเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำ ที่กองทัพเรือต้องการคือ

2.2.1 มีความเร็วประมาณ 5 นอต และดำน้ำได้ลึกไม่ต่ำกว่า 30 เมตร

2.2.2 สามารถใช้งานต่อเนื่องในการฝึกได้ 90 นาที

2.2.3 ส่งสัญญาณเสียงในน้ำ ให้ปรากฏบนจอโซนาร์เรือผิวน้ำในลักษณะเดียวกับสัญญาณจากเรือดำน้ำ

2.2.4 แล่นสลับพื้นปลาในแนวตั้ง และมีเส้นทางเดินเป็นวงแบบก้นหอย

2.2.5 เมื่อเสร็จการฝึกแล้วสามารถเก็บมาใช้ได้อีก

3. แนวความคิดในการออกแบบ

3.1 การที่จะสามารถนำเป้าฝึกกลับมาใช้ได้อีกเมื่อเสร็จสิ้นการฝึกแล้ว คณะวิจัยเลือกใช้แนวความคิดให้ตัวเป้าหมายมีน้ำหนักเบาว่าน้ำ โดยติดตั้งอุปกรณ์ หรือน้ำหนักถ่วงให้เป้าฝึกจมลงใต้น้ำในขณะใช้งาน

3.2 ระบบขับเคลื่อนใช้มอเตอร์กระแสตรงขับเคลื่อนใบจักร โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

3.3 การควบคุมการเคลื่อนที่เป็นรูปพื้นเลื่อยในแนวตั้ง ใช้ Sensor วัดกำลังดันของน้ำที่จะแปรผันตามความลึก และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปให้ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ บังคับให้เป้าเคลื่อนขึ้น - ลงเป็นรูปพื้นเลื่อย

3.4 จากแนวความคิดเบื้องต้นทั้งหมด คณะวิจัยเลือกใช้ FIN มีรูปหน้าตัดเป็น Airfoil หมายเลข NACA 4412 ของสถาบัน NASA ติดตั้งที่ด้านข้างของเป้า เมื่อไรก็ตามที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะเกิดแรงกดจาก FIN ทำให้เป้าดำน้ำ การควบคุมให้เคลื่อนที่เป็นรูปพื้นเลื่อยใช้ Pressure Sensor วัดกำลังดันของน้ำทะเลและส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปให้อุปกรณ์ควบคุมให้ตัดและต่อกระแสไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนใบจักร กล่าวคือเมื่อเป้าดำลงถึงความลึกสูงสุดที่ต้องการ (เลือกความลึกตามความต้องการทางยุทธวิธีปราบเรือดำน้ำ) ระบบควบคุมจะตัดกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ เป้าก็จะลอยขึ้นด้วยแรงลอยของตัวเองจนถึงความลึกต่ำสุดที่ตั้งไว้ มอเตอร์จะเริ่มเดินอีกครั้ง เป้าก็จะดำลงอีก

4. รายละเอียดในการออกแบบ

4.1 การออกแบบโครงสร้างเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำ

การออกแบบขนาดและมิติอื่น ๆ เบื้องต้น คณะนักวิจัยได้นำยานใต้น้ำประเภทอื่น ๆ ที่มีใช้ราชการในราชนาวีมาพิจารณาประกอบ ได้แก่ เป้าฝึกปราบเรือดำน้ำของสหรัฐอเมริกา แบบ Mk 38 Mod 5 เป้าฝึกปราบเรือดำน้ำของ ร.ล.มกุฎราชกุมาร และตอร์ปิโดแบบ 45 ฉ. และได้นำขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ภายในมาพิจารณาประกอบ ได้เลือก

ออกแบบให้เป้าฝึกที่ต้องการมีรูปร่างคล้ายตอร์ปิโดมีความยาวประมาณ 3 เมตร และมีรูปหน้าตัดเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. (ดูรูปที่ 1 และ 2) วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างทั้งหมดใช้ Aluminum Alloy หมายเลข 5083 ตามมาตรฐาน ASTM 209-2976 (Tensile Strength เท่ากับ 28 Kg/mm² และ Yield Strength เท่ากับ 11 Kg/mm²) เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมต่อเรือ ลำตัวของเป้าฝึกมีวงเป็น รูปวงแหวน มีความหนาเป็น 3 มม. มี Frame Spacing เท่ากับ 10 ซม. (ดูรูปที่ 3) ส่วน Plating ใช้แผ่นอลูมิเนียมความหนาเท่ากับ 3 มม. ทั้งนี้ได้ตรวจสอบกำลังของโครงสร้าง 2 กรณี คือ

4.1.1 การใช้สูตรสำเร็จตรวจสอบ Shell Buckling

ปรากฏการณ์นี้คือการเกิด Buckling ของเปลือกลำตัวเป้า เนื่องจาก Hydrostatic Pressure ของน้ำทะเลลึก 30 เมตร ที่มีค่าประมาณ 3 BAR ความดันวิกฤติที่จะทำให้เปลือกลำตัวเป้า Collapse คำนวณได้จากสมการ (1)

$$P_c = \frac{2.42 E \left(\frac{t}{D}\right)^3}{(1 - \mu^2)^{3/4} \left[\frac{L}{D} - 0.45 \left(\frac{t}{D}\right)^{1/2}\right]} \quad (1)$$

E คือ Young's Modulus ของวัสดุ

μ คือ Poisson's Ratio

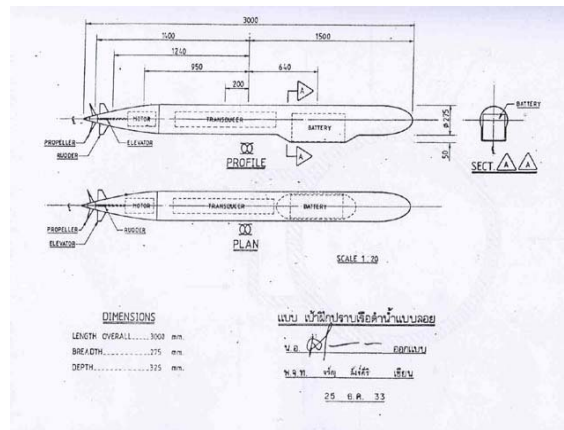
D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของลำตัวเป้าฝึก

L คือ ระยะระหว่าง Frame (Frame Spacing)

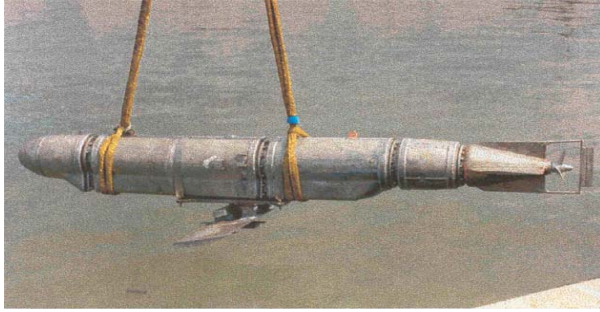
จากการคำนวณพบว่า P_c ในกรณีของเป้าฝึกเท่ากับ 750 PSI ซึ่งมีค่าสูงกว่า Hydrostatic เป็นอันมาก จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงพอเพียง

4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี Finite Element

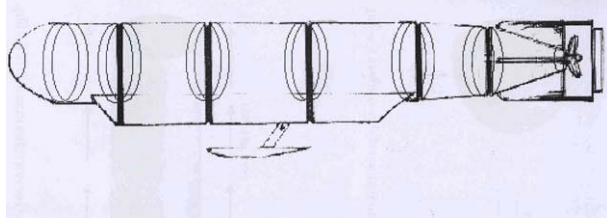
ได้ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element โดยใช้โปรแกรม ANSYS 5.4 ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า Maximum Stress ที่เกิดมีค่าน้อยมากประมาณ 4 % ของ Yield Strength



รูปที่ 1 ภาพลายเส้นเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำ



รูปที่ 2 การปล่อยลงน้ำด้วย CRANE



รูปที่ 3 โครงสร้างภายในของเพาฟีกปราบเรือดำน้ำ

4.2 การวิเคราะห์ความต้านทานจากน้ำทะเล

4.2.1 ความต้านทานของน้ำทะเลที่ความเร็วต่าง ๆ ของเพามีผลต่อการเลือกขนาดของมอเตอร์ขับเคลื่อน การคำนวณค่าความต้านทานขั้นต้นเพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดขนาดหลักของเพากระทำโดยใช้สูตรเบื้องต้น

$$D = \frac{1}{2} C_D A V^2 \rho \quad (2)$$

ในสมการนี้ D คือ ความต้านทานหรือแรงต้านทานจากน้ำทะเล

C_D คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทาน

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล

A คือ พื้นที่รับแรงต้าน

V คือ ความเร็วของเพาฟีกปราบเรือดำน้ำ

แรงต้านทั้งหมดที่กระทำกับเพา ได้วิเคราะห์โดยแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ที่ลำตัวเพาฟีกมีสองส่วน คือ Form Drag และ Skin Friction ส่วนที่สามคือ แรงต้านจาก FIN แรงต้าน Form Drag ทำการวิเคราะห์โดยประมาณว่า ส่วนหัวและส่วนท้ายของเพาฟีกเป็นรูปครึ่งวงกลม

$$C_D = 0.34$$

และ A คือพื้นที่หน้าตัดของลำตัวเพาฟีก

ในส่วนของ Skin Friction ค่าของ C_D คำนวณได้จากสมการ (3)

$$C_D = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \quad (3)$$

Re คือ Reynolds Number (ขึ้นกับมิติและความเร็วของเพาฟีก)

และ A ในสมการ (2) คือ พื้นที่ผิวของลำตัวเพาฟีก

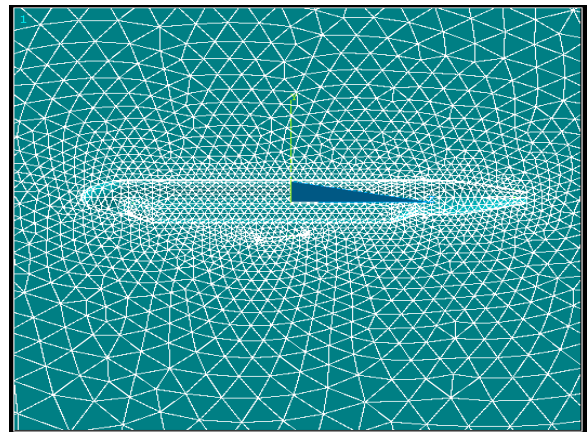
แรงต้านที่เกิดจาก FIN คำนวณได้โดยใช้ค่า C_D ของ Section NACA 4412 ซึ่งจะมีค่าแปรเปลี่ยนตามมุมปะทะและ Reynolds Number ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า C_D ของ NACA 4412 (Reynolds Number = 900,000)

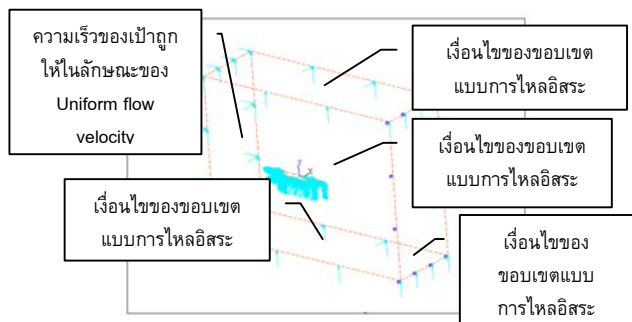
มุมปะทะ (องศา)	0	5	10
C_D	0.006	0.007	0.016

ส่วนค่าของ A ในสมการ (2) คือค่าของ Projected Area ของ FIN ซึ่งมีมิติตามการออกแบบที่จะกล่าวในลำดับต่อไป

4.2.2 ทำการวิเคราะห์แรงต้านทานรวมของเพาอีกครั้ง ด้วยวิธี Computational Fluid Dynamics หรือ CFD แบบของ Element ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความต้านทานคือ Fluid Flow Element แบบ 3 มิติ รูปที่ 4 เป็นการแสดงการทำ Meshing ส่วนขอบเขตของการคำนวณและการกำหนด Boundary Conditions แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 4 รูปแบบการทำ MESHING



รูปที่ 5 แสดง BOUNDARY CONDITIONS ของ COMPUTATION DOMAIN

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าความต้านทานรวมของใบพัด และคำนวณหาแรงกตลงที่เกิดจาก FIN โดยมีความเร็วของใบพัดและมุมปะทะต่าง ๆ ของ FIN เป็น Parameter ความต้านทานที่ได้จะนำไปใช้คำนวณออกแบบระบบขับเคลื่อน ส่วนแรงกตจะนำไปใช้ร่วมกันพิจารณาถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ใบพัดมีเสถียรภาพในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ใต้น้ำ ผลของการวิเคราะห์สรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์แรงต้านและแรงกตจาก FIN ด้วย CFD

ความเร็ว (นอต)	มุมปะทะ (องศา)	แรงต้าน (นิวตัน)	แรงกต (นิวตัน)
3	0	37	40
	10	54	152
5	0	104	112
	10	105	330
7	0	200	218
	10	184	535

4.3 การออกแบบระบบขับเคลื่อน

เมื่อทราบค่าความต้านทานแล้ว จึงนำข้อมูลมาออกแบบระบบขับเคลื่อน ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน เฟลา ใบจักร และแบตเตอรี่

4.3.1 การเลือกมอเตอร์และแบตเตอรี่

พลังงานที่ต้องการขับเคลื่อนให้ใบพัดมีความเร็วต่าง ๆ คำนวณได้จากสมการ

$$\text{Effective Power (Kw)} = \frac{T \times V}{1000} \quad (3)$$

T = คือ แรงผลึก (Newton) มีค่าเท่ากับ แรงต้าน (Drag) ที่แต่ละความเร็ว

V = คือ ความเร็วของใบพัด (เมตรต่อวินาที)

กำลังของมอเตอร์ หรือ Brake Power ต้องมีค่าสูงกว่า Effective Power เนื่องจากมี Loss ของกำลัง จากมอเตอร์ถึงใบจักร

กำหนดให้ Overall Propulsive Efficiency (η_o)

$$= \frac{\text{Effective Power}}{\text{Brake Power}}$$

$$\text{ดังนั้น Brake Power} = \frac{\text{Effective Power}}{\eta_o} \quad (4)$$

จากประสบการณ์การออกแบบ η_o ในย่านความเร็วต่ำ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 – 0.4 โดยที่ η_o ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของส่วนที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำและ Loss ในระบบเฟลา คือ

$$\eta_o = \eta_p \times \eta_H \times \eta_s$$

โดยที่ η_p = ประสิทธิภาพใบจักร

η_H = Hull Efficiency

η_s = Shaft Efficiency

เมื่อใช้ $\eta_o = 0.3$ จะทำให้ได้ Brake Power ที่ความเร็วต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่า Brake Power ที่ความเร็วต่าง ๆ (มุมปะทะ = 10 องศา)

ความเร็ว (นอต)	3	5	7
Brake Power (KW)	0.27	0.889	2.181
Brake Power (HP)	0.35	1.13	2.77

เมื่อทบทวนข้อจำกัดต่างๆ ได้แก่ ขนาดของมอเตอร์กระแสตรงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และความเหมาะสมกับการติดตั้งลงในใบพัดที่กำหนดไว้แล้ว จึงพิจารณาเลือกมอเตอร์ขนาด 1.2 แรงม้า ซึ่งจะทำให้ใบพัดมีความเร็วขณะที่แล่นอยู่ใต้น้ำประมาณ 4 นอต นอกจากนั้นการเลือกมอเตอร์ยังต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ต่าง ๆ อีกด้วยดังต่อไปนี้

(1) ต้องมีขนาดและน้ำหนักเหมาะสมที่จะบรรจุลงในใบพัดปราบเรือดำน้ำได้

(2) เป็นแบบ Totally Enclosed ป้องกันมิให้น้ำทะเลสัมผัสกับขดลวดภายใน

(3) เป็นมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลท์ เพื่อให้มีขนาดเล็ก ข้อมูลเกี่ยวกับมอเตอร์ที่ต้องการในห้วงเวลาที่ทำการวิจัยมีจำกัด ในที่สุดคณะวิจัยเลือกมอเตอร์ขนาด 1.2 HP 24 VDC มีความเร็ว 1600 RPM เชื่อว่าจะทำให้ความเร็วใบพัดประมาณ 5 นอต

ส่วนแบตเตอรี่มีข้อจำกัดคล้ายกับมอเตอร์คือมีขนาดเหมาะสมกับลำตัวเรือ และเป็นแบบ Maintenance Free ไม่มีช่วงเติมน้ำกลั่น มีขนาด 115 Ampere – Hour จำนวน 2 หม้อ

4.3.2 การออกแบบใบจักร

คณะวิจัยเลือกใช้ใบจักรแบบ B-3-35 เส้นผ่าศูนย์กลาง 228 มิลลิเมตร มี Pitch ของใบจักรเท่ากับ 128 มิลลิเมตร 3 Blade มีประสิทธิภาพ 30 – 32 % และใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียม

4.3.3 การออกแบบเฟลาใบจักร

การออกแบบเฟลาต้องคำนึงถึงปัจจัย 2 ประการ คือ Strength ของเฟลาและจุดสั่นของการสั่นแบบ Torsional Vibration ในด้าน Strength ได้เลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิมชั้น 1 ตามมาตรฐาน กรมอุทกศาสตร์ มี σ_y เท่ากับ 35,000 PSI เฟลามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร Safety Factor เท่ากับ 29 ในด้านการสั่นแบบ Torsional Vibration นั้น Critical Speed สามารถคำนวณได้จาก สมการ (5)

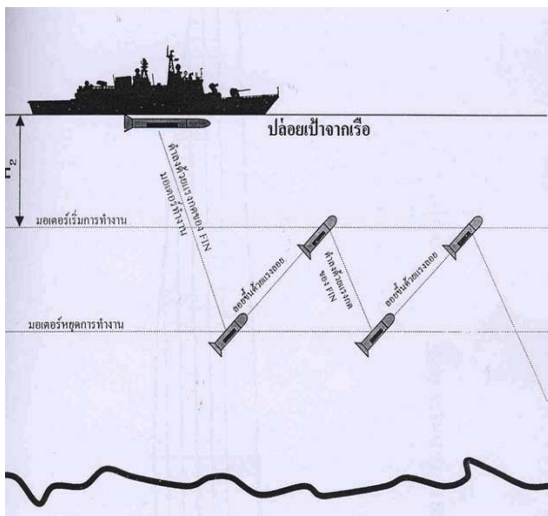
$$C_n = \left[\frac{EI}{I_x \left(b + \frac{l}{3} \right) + \frac{W_{PROP} \cdot b^2}{g} \left(\frac{b}{2} + \frac{l}{3} \right) + \mu \left(\frac{b^4}{8} + \frac{lb^3}{9} + \frac{7l^4}{360} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

- C_n = ความเร็ววิกฤติ (RPM)
- E = Young's Modulus ของเพลลา
- I = Moment of Inertia of Area ของรูปหน้าตัดของเพลลา
- I_x = Mass Moment of Inertia ของใบจักร
- W_{PROP} = น้ำหนักของใบจักร
- l = ช่วงความยาวของเพลลาระหว่างแบร์ริง 2 ตัว
- b = ระยะระหว่าง แบร์ริงตัวท้าย และจุดศูนย์กลางของใบจักร

ผลการคำนวณ Critical Speed ของเพลลา คือ 592 RPM ต่ำกว่าความเร็วที่ใช้งานจริงอยู่มาก นักวิจัยเลือกใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร มีแบร์ริงรับเพลลา 2 ตัว และมีจุดสั้นห่างจากความเร็วรอบใช้งานคือ 1600 RPM

4.4 การควบคุมความลึกและการตั้งเวลาการทำงาน

การเคลื่อนที่ใต้น้ำของเป่า ในระนาบตั้งต้องมีลักษณะพื้นเลื่อย ดังกล่าวมาแล้ว หลักการออกแบบก็คือ เมื่อไรก็ตามที่ใบจักรหมุนจะเกิดแรงผลักให้เป่าเคลื่อนที่ไปข้างหน้า พร้อมกับมีแรงกดมาจากแผ่น FIN ให้เป่าต่ำลงเพิ่มขึ้น และเมื่อไรก็ตามที่ใบจักรหยุดหมุน เป่าจะลอยตัวขึ้น เนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำ นักวิจัย เลือกใช้ Pressure Switch เป็นอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ โดยรับกำลังดันของน้ำทะเล มาเปิดและปิด Switch เพื่อตัดและต่อกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้ามอเตอร์ (ดูรูปที่ 6) อุปกรณ์สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ Timer ที่มีหน้าที่หน่วงเวลามีให้มอเตอร์เริ่มทำงาน จนกว่าจะถึงเวลาที่ตั้งไว้ และให้มอเตอร์หยุดทำงานเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้เช่นเดียวกัน เพื่อให้เป่าลอยขึ้นสู่วิวน้ำไม่ว่าจะมีพลังงานเหลือเท่าไรในแบตเตอรี่



รูปที่ 6 การควบคุมความลึกของเป่าฝึกปราบเรือดำน้ำ

4.5 การออกแบบ FIN

เนื่องจากเป่าฝึกมีน้ำหนักเบาคว่าน้ำ การที่จะทำให้เป่าต่ำลงได้ น้ำต้องติดตั้งแผ่น FIN ทำให้เกิดแรงกดที่มากกว่าแรงลอยตัว แผ่น FIN มีรูปหน้าตัดเป็น Airfoil แบบ NACA 4412 การออกแบบเบื้องต้นคำนวณค่าแรงกดโดยใช้สมการ

$$L = \frac{1}{2} V^2 C_L A \cdot \rho \quad (6)$$

- L คือ แรงกด
- ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล
- A คือ พื้นที่ Projected Area แผ่น FIN
- V คือ ความเร็วของเป่า
- C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยกที่รวมผลกระทบจากการไหลแบบ 3 มิติแล้ว

สมการ (6) นี้นำไปคำนวณขนาดของแผ่น FIN ได้แก่ Span และความยาว Chord ของรูปหน้าตัด ผลการออกแบบได้รับการทดสอบด้วยการวิเคราะห์แรงกดและแรงต้านของเป่าฝึกที่ติดตั้งแผ่น FIN แล้ว ด้วยวิธี CFD ตามที่กล่าวมาแล้วใน ข้อ 4.2 จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ขนาดของแผ่น FIN คือ

Chord Length	30 เซนติเมตร
Span	1 เมตร
น้ำหนัก	21 กิโลกรัม
วัสดุ	อลูมิเนียม

4.6 ต้นกำเนิดเสียงใต้น้ำ

อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของเป่าฝึกปราบเรือดำน้ำก็คืออุปกรณ์ ที่จะให้ตัวยานสามารถแพร่คลื่นสัญญาณเสียง ออกมาเมื่อเป่าฝึก ๙ อยู่ใต้น้ำ เพื่อให้ปรากฏบนจอของระบบโซนาร์ (Sonar) ในเรือที่ใช้ในการฝึกปราบเรือดำน้ำ โดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำการสร้างและแพร่คลื่นสัญญาณเสียงใต้น้ำ

การที่จะทำให้เป่าฝึก ๙ สามารถแพร่คลื่นสัญญาณเสียงออกมา จะต้องติดตั้งอุปกรณ์สำหรับให้กำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการแพร่คลื่นสัญญาณเสียงใต้น้ำ ที่เรียกว่า Transducer ซึ่ง Transducer นี้เป็นอุปกรณ์สำคัญในระบบโซนาร์ทั่วไป แต่อุปกรณ์ชนิดนี้ จะทำหน้าที่แพร่คลื่นสัญญาณเสียงออกไป เฉพาะทิศทาง (Directional) การที่จะทำให้เป่าฝึก ๙ สามารถที่จะแพร่คลื่นสัญญาณเสียงออกไปได้ทุกทิศทาง (Omnidirectional) เป็นต้องใช้อุปกรณ์ Transducer จำนวนมาก ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากจำนวน Transducer นี้ อาจมีผลกระทบต่อการลอยตัวของยานใต้น้ำ และเพื่อเป็นการแก้ปัญหา ดังกล่าวจึงได้มีการนำ Hydrophone ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถ ทั้งในการรับและแพร่คลื่นสัญญาณเสียงใต้น้ำได้ทุกทิศทาง แต่กำลังส่ง ในการแพร่คลื่นจะต่ำกว่าอุปกรณ์แบบ Transducer ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มกำลังส่ง จึงจำเป็นต้องมีการนำอุปกรณ์สำหรับขยายกำลังส่ง (Amplifier) มาใช้ร่วมด้วย

5. การเคลื่อนที่ของเป่าไต้หน้า

เพื่อเป็นการยืนยันการทำงานของเป่าไต้หน้าเมื่ออยู่ใต้ผิวน้ำ คณะนักวิจัยได้ทำการคำนวณ เพื่อทำนายลักษณะการเคลื่อนที่ไต้หน้าของเป่าไต้หน้า โดยมีความเร็วของเป่าไต้หน้า (ในแนวระดับ) และมุมปะทะ (Angle of Attack) ของแผ่น FIN เป็นตัวแปรในการคำนวณ การทำนายลักษณะการเคลื่อนที่คือการหา Solution ของสมการการเคลื่อนที่ต่อไปนี้คือ

$$m \frac{d^2}{dt^2} x(t) + Kd \left(\frac{d}{dt} x(t) \right)^2 = T \quad (7)$$

$$m \frac{d^2}{dt^2} x(t) Ki (V(t))^2 - B + W = 0 \quad (8)$$

โดยที่

- m = มวลรวมของเป่าไต้หน้า
- x(t) = ระยะการเคลื่อนที่ของเป่าไต้หน้า ในแนวระดับ
- y(t) = ระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง
- Kd = Aerodynamic Characteristic Drag
- Ki = Aerodynamic Characteristic Lift
- V(t) = ความเร็วการเคลื่อนที่ของเป่าไต้หน้าในแนวระดับ
- B = แรงลอยตัวของเป่าไต้หน้า
- W = น้ำหนักรวมของเป่าไต้หน้า

6. การทดลองการทำงานของเป่าไต้ในทะเล

การทดลองการทำงานในทะเล มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ และการทำงานโดยรวมของเป่าไต้หน้าเรือดำน้ำในสถานการณ์จริง การบันทึกข้อมูลใช้นักดำน้ำลงถ่ายวิถีทัศนไต้หน้าและใช้เรือรบที่มีโซนาร์ สำหรับค้นหาเรือดำน้ำเข้าค้นหาตำแหน่งของเป่าไต้หน้าที่เคลื่อนที่อยู่ที่ใต้ผิวน้ำ ผลการทดสอบพบว่าเป่าไต้หน้าเรือดำน้ำสามารถทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์ ในข้อ 2 ยกเว้นในด้านความเร็วของเป่าไต้หน้าที่ไม่อาจตรวจสอบได้ นอกจากนั้นยังพบว่า ระบบกำเนิดเสียงไต้หน้ายังทำงานอยู่ในระดับที่ไม่น่าพอใจ เนื่องจากโซนาร์ของเรือดำน้ำสามารถตรวจจับเป่าไต้หน้าเรือดำน้ำที่ระยะไกลเกินไป

7. สรุป

กองทัพเรือได้วิจัย และพัฒนาเป่าไต้หน้าเรือดำน้ำขึ้นเพื่อทดแทนยุทโธปกรณ์จากต่างประเทศ และสามารถใช้งานไต้ระดับหนึ่งด้วยมีข้อบกพร่องประการสำคัญคือ ต้นกำเนิดเสียงไต้หน้ามีกำลังส่งไม่สูงพอ ทำให้ไม่สามารถไปฝึกค้นหาเรือดำน้ำได้ตามวัตถุประสงค์ ถ้าสามารถปรับปรุงข้อจำกัดประการนี้ได้สำเร็จ จะสามารถนำไปผลิตเพื่อทดแทนสินค้าจากต่างประเทศได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี, พลเรือตรี และคณะ . “โครงการวิจัยและพัฒนาเป่าไต้หน้าเรือดำน้ำ” .เอกสารวิจัย กรมอุทกทหารเรือ, 2543.
- [2] ปองวิทย์ ศิริโพธิ์, รองศาสตราจารย์ . “การวิเคราะห์ทางวิศวกรรมของเป่าไต้หน้าเรือดำน้ำ กองทัพเรือ” . รายงานการวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศยาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.
- [3] Abbott, I.H. and Von Doenhott, A.E. The theory of Wing Sections . New York : Dover Publications, Inc., 1959.
- [4] Naval Sea Systems Command. Mobile Target Mk 38 Mods. Technical Manual SW 581 – As OPI – 010/MK 38 - 5. USA., 1986.
- [5] Sabersky, R.H., Acosta, A.J., and Hauptmann, E.G., Fluidflow, New York : Macmillan Publishing Co., 1989.
- [6] Bureau of Ships, Department of The Navy. Propulsion Shafting. DDS4801,1957