

ยานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำ

Unmanned Underwater Vehicle for Antisubmarine Warfare Exercise

วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี¹, ปองวิทย์ ศิริโพธิ์², จารุวรรณ ธนเนตร³, วัชรวิทย์ เอี่ยมสะอาด³,
สุทธิไชย รังสิโรตม์โกมล⁴ และ กมล ศิริไล³

¹ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ(องค์การมหาชน) กรุงเทพฯ 11120

² ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

³ กรมอุทกหารเรือ บางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

⁴ กรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ แหลมฟ้าผ่า พระสมุทรเจดีย์ สมุทรปราการ 10290

* ติดต่อโทรศัพท์ : 08 1726 7580, Email Jaruwat.t@navy.mi.th

บทคัดย่อ

กองทัพเรือไม่มีเรือดำน้ำในประจำการ การฝึกกำลังพลให้มีความชำนาญในการทำสงครามปราบเรือดำน้ำ จึงไม่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องอาศัยเรือดำน้ำจากมิตรประเทศมาเป็นเป้าให้เรือผิวน้ำของ กองทัพเรือฝึกค้นหา กระทั่งวงกลมโหมจึงมอบทุนให้ทำการวิจัยเพื่อสร้างยานใต้น้ำเพื่อเป็นเรือดำน้ำขนาดเล็ก สำหรับการฝึกที่ต้องได้ผลเหมือนการฝึกโดยใช้เรือดำน้ำจริง ยานใต้น้ำมีคุณลักษณะที่สำคัญคือแล่นใต้น้ำด้วยความเร็ว 3 นอต ดำน้ำได้ลึก 30 เมตร สามารถส่งสัญญาณเสียงใต้น้ำไปปรากฏบนจอโซนาร์เรือผิวน้ำเหมือนกับการตรวจพบเรือดำน้ำในสถานการณ์จริง ผู้ใช้งานตั้งค่าตัวแปรให้ยานใต้น้ำมีการเคลื่อนที่ ในลักษณะและทิศทางที่ต้องการ สามารถใช้ในการฝึกได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง เมื่อเสร็จสิ้นการฝึกแล้วสามารถเก็บขึ้นเรือใหญ่ได้ง่าย การทำงานของทุกระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่ทำให้ยานเคลื่อนที่แบบ Autonomous

คำสำคัญ : การฝึกปราบเรือดำน้ำ, ผลการฝึกที่เหมือนเรือดำน้ำจริง, การเคลื่อนที่แบบ Autonomous.

Abstract

The Royal Thai navy has now no submarine in service, the training programme to detect and destroy invading submarines for crews and officers of frigates is nearly impossible. As a result, the navy has to employ submarines of neighborhood countries for the purpose of practice. Ministry of Defense grant was given to research and built an unmanned underwater vehicle (UUV) when used will result in as successful training as that with a real submarine. The UUV can be operated at 30 m. deep and move with a speed at 3 knot. It can generate echo on Sonar Screen of a destroyer the same manner as that when a real submarine is detected. The user can select parameters used for various of underwater movements and feed to the UUV before it starts diving. It can operate continuously longer than 4 hours and can be easily lifted up from the water when training ends.

Keywords: Antisubmarine Training, Sonar Echo Display, Autonomous Movement

1. บทนำ

ประเทศเพื่อนบ้านของประเทศไทยหลายประเทศได้จัดหาเรือดำน้ำมาประจำการ อันเป็นการเพิ่มศักยภาพของกองทัพเรือของตน ถ้าเกิดความขัดแย้งกับประเทศไทยในอนาคต เรือดำน้ำของประเทศเพื่อนบ้านก็จะเป็นภัยคุกคามต่อการปฏิบัติการทางทหารในทะเลและการขนส่งสินค้าของประเทศ เนื่องจากการนำเข้าและการส่งสินค้าออกของประเทศ ต้องพึ่งพาการขนส่งทางเรือเป็นส่วนใหญ่ กองทัพเรือจึงหันมาให้ความสนใจ ต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการปราบเรือดำน้ำด้วยเรือผิวน้ำที่มีอาวุธทำลายเรือดำน้ำ ส่วนที่ยากที่สุดของ “กระบวนการปราบเรือดำน้ำ” คือการค้นหาเรือดำน้ำให้พบ โดยใช้อุปกรณ์สำคัญคือโซนาร์ ที่ทำงานโดยการแพร่คลื่นเสียงไปในน้ำทะเล เมื่อไปกระทบวัตถุใต้น้ำแล้วเกิดการสะท้อนกลับมาปรากฏเป็นเป้าในจอโซนาร์บนเรือผิวน้ำ การที่จะแยกแยะว่าเป้าที่ปรากฏเป็นเรือดำน้ำหรือไม่นั้น พนักงานโซนาร์และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของเรือรบผิวน้ำต้องมีความชำนาญสูง ต้องผ่านการฝึกมาอย่างโชกโชน ด้วยการนำเรือดำน้ำมาเป็นเป้าให้เรือผิวน้ำฝึกค้นหาและไล่ล่า การที่กองทัพเรือไม่มีเรือดำน้ำประจำการจึงต้องแก้ปัญหาด้วยการจัดหาขานได้นำขนาดเล็กที่สร้างไว้เป็นการเฉพาะสำหรับการฝึกปราบเรือดำน้ำมาใช้ และนำมาซึ่งโครงการวิจัย “ขานได้นำไร้คนขับสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำ”

2. คุณสมบัติที่ต้องการการสำหรับขานได้นำ

- 2.1 เป็นขานที่เล่นโดยอิสระในทะเล ไม่ต้องการควบคุมใด ๆ จากเรือพี่เลี้ยงที่มีหน้าที่นำขานไปปล่อยในสนามฝึกอีก
- 2.2 เรือพี่เลี้ยงเก็บขานจากทะเลได้สะดวกเมื่อเสร็จการฝึก
- 2.3 เล่นได้นำด้วยความเร็วไม่ต่ำกว่า 3 นอต สามารถดำน้ำได้ลึก 30 เมตร และสามารถใช้ในการฝึกได้ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงต่อเนื่อง

- 2.4 สามารถเคลื่อนที่ได้ น้ำเหมือนเรือดำน้ำจริง และผู้ใช้งานสามารถกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ได้เอง
- 2.5 สามารถส่งสัญญาณใต้น้ำไปปรากฏบนจอโซนาร์ของเรือรบผิวน้ำเหมือนกับสัญญาณจากการตรวจพบเรือดำน้ำจริง

3. หลักการวิเคราะห์และออกแบบ

- 3.1 การที่ขานได้นำมีการเคลื่อนที่ได้ น้ำได้เหมือนเรือดำน้ำจริง จะต้องออกแบบมีระบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ระบบขับเคลื่อน (Propulsion System) เพื่อเกิดแรงผลักดันขานเคลื่อนที่ไปด้านหน้า ระบบจม-ลอย (Ballast System) เพื่อให้ขานดำลงได้นำและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ระบบก้ม-เงยหน้า (Nose up – Nose down System) เพื่อขานเปลี่ยนความลึกได้ง่าย
- 3.2 ความต้องการให้เรือพี่เลี้ยงสามารถเก็บขานขึ้นจากน้ำได้สะดวก จึงต้องออกแบบให้ขานเบากว่าน้ำ เมื่อปล่อยลงน้ำจะลอยปริมน้ำและเก็บขึ้นเรือพี่เลี้ยงได้สะดวกเมื่อเสร็จการฝึก นอกจากนี้ควรต้องมีระบบที่ทำให้ขานส่งข้อมูลไปแจ้งเรือผิวน้ำให้ทราบตำแหน่งของตนเมื่อโผล่ขึ้นสู่ผิวน้ำเมื่อเสร็จการฝึก ด้วยการส่งคลื่นวิทยุผ่านเสาอากาศของขาน
- 3.3 เพื่อให้ผู้บังคับขานสามารถติดต่อกับขานได้ตลอดเวลาที่ขานลอยผิวน้ำ จึงต้องมีระบบสื่อสารกับขานผ่านเสาอากาศ
- 3.4 ระบบโซนาร์ของเรือรบผิวน้ำ ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการค้นหาเรือดำน้ำจริงที่มีขนาดใหญ่ (ความยาวตั้งแต่ 30 เมตรขึ้นไป) การที่จะให้ขานได้นำสามารถทำให้มีสัญญาณในจอโซนาร์ของเรือผิวน้ำ จำเป็นจะต้องมีวิธีทำให้คลื่นเสียงที่ส่งมากระทบกับขานได้นำและสะท้อนกลับไปหาเรือผิวน้ำ (Echo) มีกำลังสูงใกล้เคียงกับคลื่นที่สะท้อนจากเรือดำน้ำจริง นั่นคือขานได้นำจะต้องมีระบบทวนสัญญาณโซนาร์ (Sonar Repeating System) ที่มีหน้าที่เพิ่มกำลังของคลื่นที่สะท้อนกลับ
- 3.5 ขานจะต้องมีระบบควบคุมทุกระบบย่อยด้วยคอมพิวเตอร์ที่อยู่ภายในขาน ผู้ใช้งานสามารถพัฒนา

โปรแกรมใส่เอาไว้ โปรแกรมจะบังคับให้ยานเคลื่อนที่ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องมีการควบคุมจากเรือพี่เลี้ยงอีก

4. ระบบขับเคลื่อน (Propulsion System)

ระบบขับเคลื่อนจะต้องสามารถทำให้เกิดแรงผลักดันให้ยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แรงผลักดันดังกล่าวต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแรงต้านทานจากน้ำที่ความเร็วต่าง ๆ แรงต้านทานน้ำทะเลคำนวณได้จากการหาคำตอบของสมการ Navier - Stoke และสมการ Continuity ที่ความเร็วต่าง ๆ ของยาน

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

ต่อจากนั้นคำนวณผลลัพธ์ของแรงที่เกิดจากแรงดันของน้ำและความหนืดของน้ำที่กระทำต่อผิวของยาน ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่าง ๆ ของยาน จะได้ผลตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้านทานจากน้ำทะเล

ความเร็ว (นอต)	1	2	3	4	5
แรงต้าน (นิวตัน)	9.81	17.75	41.14	75.88	121.78

ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรง มีเพลาลับใบจักรอยู่ในเรือนเดียวกัน เรียกว่า Thruster ที่สามารถให้แรงผลักดันตามกำลังของมอเตอร์ตามตารางที่ 2

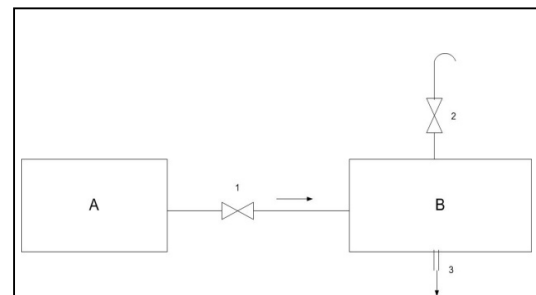
ตารางที่ 2 แรงผลักดันของ Thruster

แรงผลักดัน (N)	3.5	10	24
กำลังมอเตอร์ (W)	30	100	235

โครงการวิจัยนี้เลือกใช้ Thruster จำนวน 4 เครื่อง ผลิตในประเทศไทย

5. ระบบจม - ลอย (Ballast System)

ระบบจม - ลอย ประกอบด้วยถังอากาศอัดกำลังดันสูง จำนวน 2 ถัง และถังอับเฉา (Ballast Tank) จำนวน 4 ถัง เมื่อต้องการให้ยานดำลงได้น้ำ ระบบยอมให้น้ำทะเลไหลเข้าตัวอับเฉาเพิ่มขึ้น จนน้ำหนักรวมของยานเพิ่มมากกว่าแรงลอยตัว (Buoyant Force) ยานจะจมลงได้น้ำ เมื่อต้องการให้ยานลอยขึ้นสู่วิถีน้ำ กระทำโดยเปิดลิ้นของระบบอากาศอัด (Compressed Air) ให้มีอากาศมาไล่น้ำทะเลออกจากถังอับเฉา ยานก็จะลอยขึ้นสู่วิถีน้ำ รูปที่ 1 คือไดอะแกรมอย่างง่ายของระบบจม - ลอย



รูปที่ 1 ระบบจม - ลอย (Ballast System) อย่างง่าย

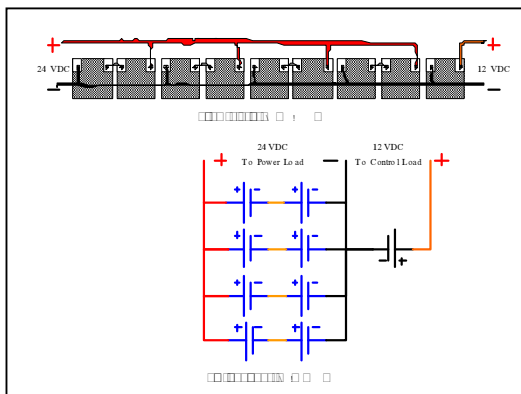
6. ระบบก้ม-เงย (Nose up – Nose down System)

ระบบก้ม - เงย ช่วยให้ยานเปลี่ยนความลึกขณะเคลื่อนที่อยู่ที่ผิวหน้า ระบบนี้ประกอบด้วยก้นน้ำหนักที่เคลื่อนที่ได้ตามทิศทาง หัวเรือ - ท้ายเรือ ทำให้นานก้มหน้าลง หรือเงยหน้าขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางถ่วงรวม (Center of Gravity) ในขณะที่ Thruster ยังเดินอยู่ จึงมีผลให้นานก้มหน้าและดำน้ำ

ลึกเพิ่มขึ้น หรือยานงยหน้าและเคลื่อนที่ใกล้ผิวน้ำ
เพิ่มขึ้น

7. ระบบไฟฟ้า (Electrical System)

ระบบต่าง ๆ ของยานทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้า
กระแสตรงจากแบตเตอรี่ ระบบไฟฟ้าประกอบด้วย
แบตเตอรี่ตะกั่วกรด 26Ah 12V จำนวน 9 หม้อ
แบตเตอรี่ 8 หม้อ สำหรับระบบต่าง ๆ ที่ใช้พลังงานสูง
และแบตเตอรี่ 1 หม้อ สำหรับระบบควบคุมการทำงาน
(Control System) การต่อวงจรเป็นไปตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อวงจรแบตเตอรี่

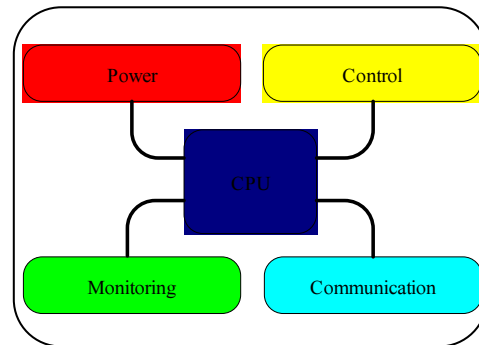
8. ระบบการสื่อสาร (Communication System)

ยานใต้น้ำมีอุปกรณ์ของระบบสื่อสาร ประกอบด้วย
ด้วยเครื่อง GPS เครื่องรับ – ส่งวิทยุ และสายอากาศ
เมื่อยานเสร็จการฝึกและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ GPS จะตรวจ
ตำแหน่งของยานแล้วให้ข้อมูลแก่เครื่องส่งวิทยุ เพื่อส่ง
คลื่นไปแจ้งตำแหน่งของตนแก่เรือพี่เลี้ยง ระบบ
สื่อสารยังมีประโยชน์สำหรับการรับคำสั่งผู้ใช้งาน โดยส่ง
คำสั่งผ่านเสาอากาศมาเข้าเครื่องรับวิทยุของยานและ
ผ่านไปเข้าระบบควบคุม

9. การควบคุมและสั่งการ (Control and Command System)

ระบบควบคุม และสั่งการของยานทำงานมี
คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน (ทางไฟฟ้า) ของทุก ๆ
ระบบ โดยมีวงจรการควบคุมแยกออกเป็น 4 ระบบดัง

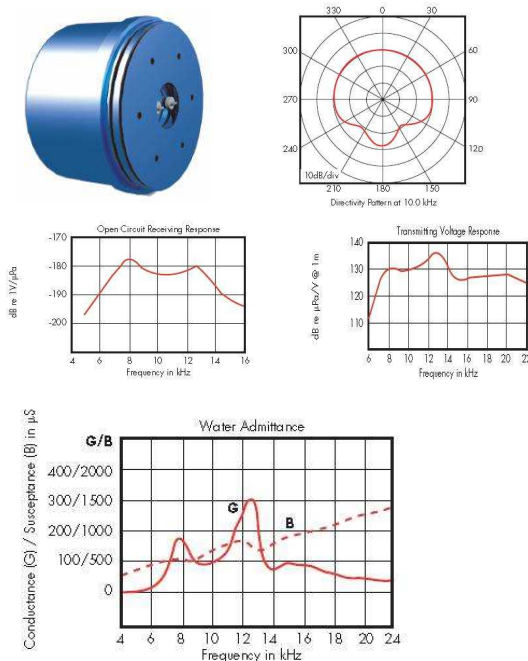
แสดงในรูปที่ 3 คือ ระบบที่ใช้พลังงานสูง (Power
System) ระบบควบคุม (Control System) ระบบเฝ้า
ตรวจ (Monitoring System) และระบบสื่อสาร
(Communication) โดยมี Main Board เป็นหน่วย
ประมวลผลกลาง



รูปที่ 3 วงจรการควบคุมและสั่งการ

10. ระบบทวนสัญญาณโซนาร์ (Sonar Repeating System)

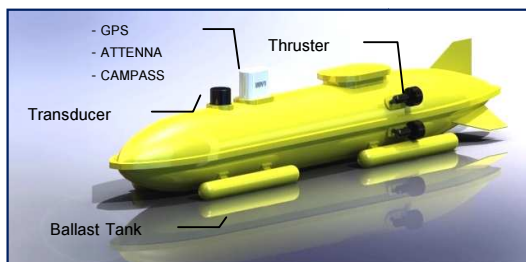
ระบบทวนสัญญาณโซนาร์ เป็นหัวใจของยานใต้น้ำ
น้ำเพราะเป็นระบบที่ทำให้ยานใต้น้ำมีคุณสมบัติเป็นเรือ
ดำน้ำจำลองได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย หน้าที่ของ
ระบบทวนสัญญาณโซนาร์คือรับสัญญาณ เสียงใต้น้ำ
ของโซนาร์ ที่ส่งมาจากเรือรบผิวน้ำ แล้วส่งไปให้
วงจรขยายสัญญาณแล้วส่งสัญญาณที่ขยายกำลังแล้ว
ส่งกลับลงน้ำ ส่งกลับไปในทิศทางตรงกันข้าม เพื่อให้
เกิดสัญญาณขึ้นในจอโซนาร์ของเรือผิวน้ำ อุปกรณ์ที่มี
หน้าที่รับสัญญาณ เสียงจากน้ำ และนำสัญญาณที่ถูก
ขยายกำลังแล้วกลับลงน้ำเรียกว่า Transducer มี
คุณสมบัติ ทางไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Transducer และคุณสมบัติทางไฟฟ้า

11. ยานใต้น้ำที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

ยานใต้น้ำที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ยานใต้น้ำที่สมบูรณ์

12. การทดสอบและการทดลองใช้งาน

การที่ยานใต้น้ำจะต้องนำไปใช้งานในทะเล และต้องเล่นใต้ผิวน้ำเป็นเวลานาน ก่อนการส่งมอบให้กองทัพเรือ ยานจะต้องผ่านการทดสอบที่มีความละเอียดถี่ถ้วน เพื่อป้องกันมิให้ต้องสูญเสียยานขณะที่กำลังใช้งานในทะเล กระบวนการทดสอบยานใต้น้ำในโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย

12.1 การทดสอบระบบย่อยในห้องปฏิบัติการ เพื่อพิสูจน์ว่าระบบย่อยทำงานได้อย่างแท้จริงตามหลักการของการออกแบบ

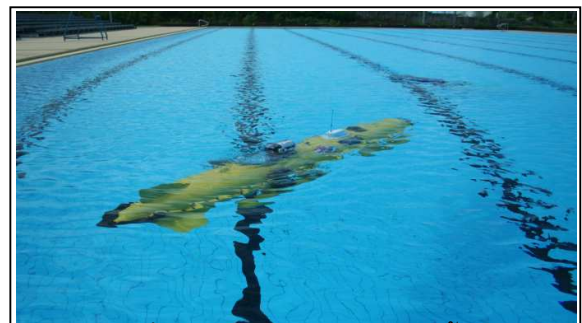
12.2 การทดสอบในโรงงาน เมื่ออุปกรณ์ทุกชิ้นติดตั้งลงในยานและต่อทางไฟเข้ากับระบบไฟฟ้าของยานแล้ว ทำการทดสอบการทำงานของระบบต่างๆ เป็นระยะเวลานานๆ เพื่อให้แน่ใจว่า การประกอบอุปกรณ์เข้ากับยานกระทำถูกต้อง และมีความมั่นคงแข็งแรง

12.3 การทดลองในสระว่ายน้ำและการทดลองหน้าท่าเทียบเรือ การทดลองลักษณะนี้มีวัตถุประสงค์ทดสอบการทำงานของยานในน้ำในระยะเวลานานๆ เพื่อปรับแต่งโปรแกรมควบคุมการทำงานของยาน และเพื่อทดสอบคุณสมบัติทุกประการของยานใต้น้ำ

12.4 การทดลองในทะเล มีวัตถุประสงค์ทดสอบการทำงานของยานในขณะที่ทำหน้าที่เป็นเป้าสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำ โดยต้องทดลองกับเรือรบผิวน้ำเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบทวนสัญญาณโซนาร์ และตรวจสอบการทำงานของยานทั้งลำในน้ำทะเลที่มีความลึกใกล้เคียงกับการออกแบบ

13. ผลการทดสอบและการทดลองใช้งาน

การทดสอบและทดลอง 4 ขั้นตอนที่กำลังกล่าวมาทำให้พบข้อบกพร่องในรายละเอียดจากการวิจัยและพัฒนาหลายประการ นักวิจัยสามารถปรับปรุงและแก้ไขข้อขัดข้องจนสามารถทำใหยานทำงานตามคุณสมบัติที่ต้องการทางยุทธการ กล่าวคือสามารถใช้เป็นเป้าสำหรับการฝึกปราบเรือดำน้ำได้จริง รูปที่ 6 ถึงรูปที่ 8 เป็นภาพยานขณะที่อยู่ระหว่างการทดลองในขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 6 การทดลองดำในสระว่ายน้ำ



รูปที่ 7 การดำน้ำในทะเลลึก 25 เมตร



รูปที่ 8 ตรวจพบยานในจอโซนาร์

14. สรุปและข้อเสนอแนะ

14.1 สรุป โครงการวิจัยยานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำมีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างยานใต้น้ำที่มีพฤติกรรมเหมือนเรือดำน้ำจริง มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเป้าสำหรับใช้ฝึกบุคลากรของเรือรบผิวน้ำปราบเรือดำน้ำ ยานใต้น้ำที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

14.2 ข้อเสนอแนะ องค์ความรู้จากโครงการวิจัยนี้สามารถนำไปวิจัยต่อยอดเพื่อสร้างยานใต้น้ำสำหรับความต้องการแบบอื่น เช่น เป็นยานสำรวจโครงสร้างใต้น้ำ ยานสำรวจทางอุทกศาสตร์ หรือยานสำหรับการทำลายทุ่นระเบิด เพียงแต่ปรับปรุงรูปแบบการควบคุมการทำงานและติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานนั้นๆ เพิ่มขึ้น

15. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีกลาโหมที่ได้อนุมัติงบประมาณสำหรับการวิจัยและพัฒนาโครงการยานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำ

16. เอกสารอ้างอิง

16.1 รายงาน

[1] วิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ, สำนักงาน. “ยานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำ”. เอกสารวิจัย, 2551.

[2] Johanson, K. and Svensson, P. Submarine Tracking by Means of Passive Sonobuoys : Position Estimation and Buoy Deployment Planning. Stockholm: Defense Research Establishment, 1997.

16.2 หนังสือ

[1] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[2] Clayton, B.R. and Bishop, R.E.D. Mechanics of Marine Vehicles. London: E. and F.N. Spon., 1982.