

**เทคโนโลยีเรือดำน้ำ
กับสงครามในอนาคต**

นาวาโท สุระ บรรจงจิตร

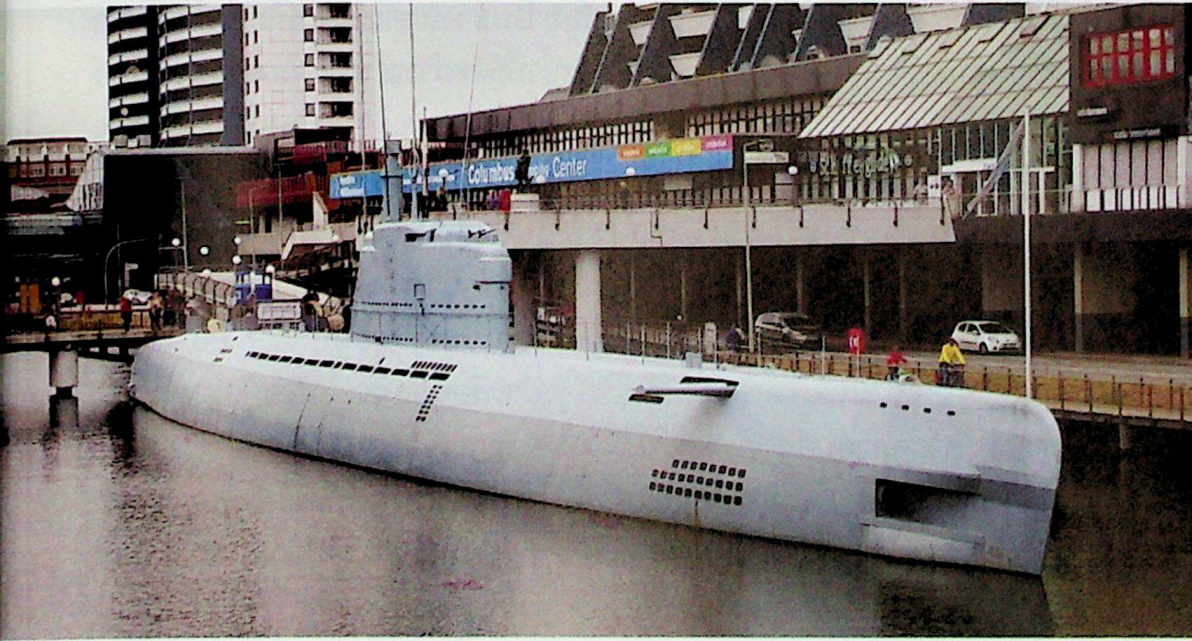
บทคัดย่อ

เรือดำน้ำมีการใช้งานทางทหารอย่างจริงจังตั้งแต่ประมาณ ๑๕๐ ปีที่ผ่านมา โดยขีดความสามารถหลักของเรือดำน้ำคือ การซ่อนพราง ส่งผลให้เรือดำน้ำมีความได้เปรียบเมื่อเทียบกับกำลังทางเรือประเภทอื่น ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้ยังคงมีโอกาสในการพัฒนาขีดความสามารถของเรือดำน้ำที่ส่งผลต่อสงครามทางเรือในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีด้านระบบขับเคลื่อนเรือดำน้ำ ด้านการสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำ ด้าน Artificial Intelligence กับการปฏิบัติการเรือดำน้ำ และด้านยานใต้น้ำไร้คนขับและเรือดำน้ำขนาดเล็ก อันจะเห็นได้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ยังคงเป็นการเน้นความสำคัญของขีดความสามารถหลักของเรือดำน้ำในการซ่อนพราง ส่งผลให้เรือดำน้ำจะยังคงเป็นอาวุธซ่อนพรางที่ค้นหาและตรวจจับได้ยาก และกำลังรบใต้น้ำจะยังคงมีบทบาทสำคัญในสงครามอนาคต

บทนำ

การซ่อนพรางเป็นหนึ่งในความได้เปรียบในการรบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมิติต่าง ๆ ของการรบทางเรือ ไม่ว่าจะเป็นผิวน้ำ บนอากาศ และใต้น้ำ จะพบว่ามีมิติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการซ่อนพรางในการรบทางเรือคือ มิติใต้น้ำ ส่งผลให้การใช้เรือดำน้ำทางทหารเป็นที่สนใจมาเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของเทคโนโลยีที่ช่วยให้เรือดำน้ำสามารถปฏิบัติการทางทหารได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยทำให้เริ่มมีการพัฒนาเรือดำน้ำทางทหารอย่างจริงจัง เมื่อประมาณ ๑๕๐ ปีที่ผ่านมา และเรือดำน้ำทางทหารเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วงสงครามโลกครั้งที่ ๑ และสงครามโลกครั้งที่ ๒ แต่ “เรือดำน้ำ” ในสมัยสงครามโลกก็ยังคงถูกออกแบบให้ปฏิบัติการบนผิวน้ำเป็นหลักและดำลงเมื่อจำเป็นเท่านั้น โดยเรือดำน้ำในคำจำกัดความที่เราคุ้นเคยในปัจจุบันที่ถูกออกแบบเพื่อให้ปฏิบัติการใต้น้ำเป็นหลักและมีขีดความสามารถกับความคล่องตัวใต้น้ำมากกว่าบนผิวน้ำเพิ่งถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปลายสงครามโลกครั้งที่ ๒ คือ เรือดำน้ำ Type XXI ของเยอรมนี และได้กลายเป็นต้นแบบเรือดำน้ำสมัยใหม่ของหลายประเทศ

หลังจากที่เยอรมนีแพ้สงคราม^๑ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าเรือดำน้ำทางทหารยังเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เริ่มใช้งานจริงมาไม่นาน และยังมีโอกาสในการพัฒนาต่อไปได้อีกในอนาคต



ภาพที่ ๑ พิพิธภัณฑ์เรือดำน้ำ Wilhelm Bauer (Type XXI)
ที่เมือง Bremerhaven เยอรมนี

ที่มา : <https://m.facebook.com/KringsakTao160760/posts/893543757678652>

บทความนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเรือดำน้ำสมัยใหม่ และผลกระทบต่อการรบทางเรือกับสงครามในอนาคต โดยแบ่งออกเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ได้แก่ เทคโนโลยีระบบขับเคลื่อนเรือดำน้ำ เทคโนโลยีการสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำ เทคโนโลยี Artificial Intelligence กับการปฏิบัติการเรือดำน้ำ และเทคโนโลยียานใต้น้ำไร้คนขับและเรือดำน้ำขนาดเล็ก

เทคโนโลยีระบบขับเคลื่อนเรือดำน้ำ

การพัฒนาาระบบขับเคลื่อนเรือดำน้ำ เป็นส่วนสำคัญให้การใช้งานเรือดำน้ำทางทหารมีความเป็นไปได้มากขึ้นในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ ๑๙

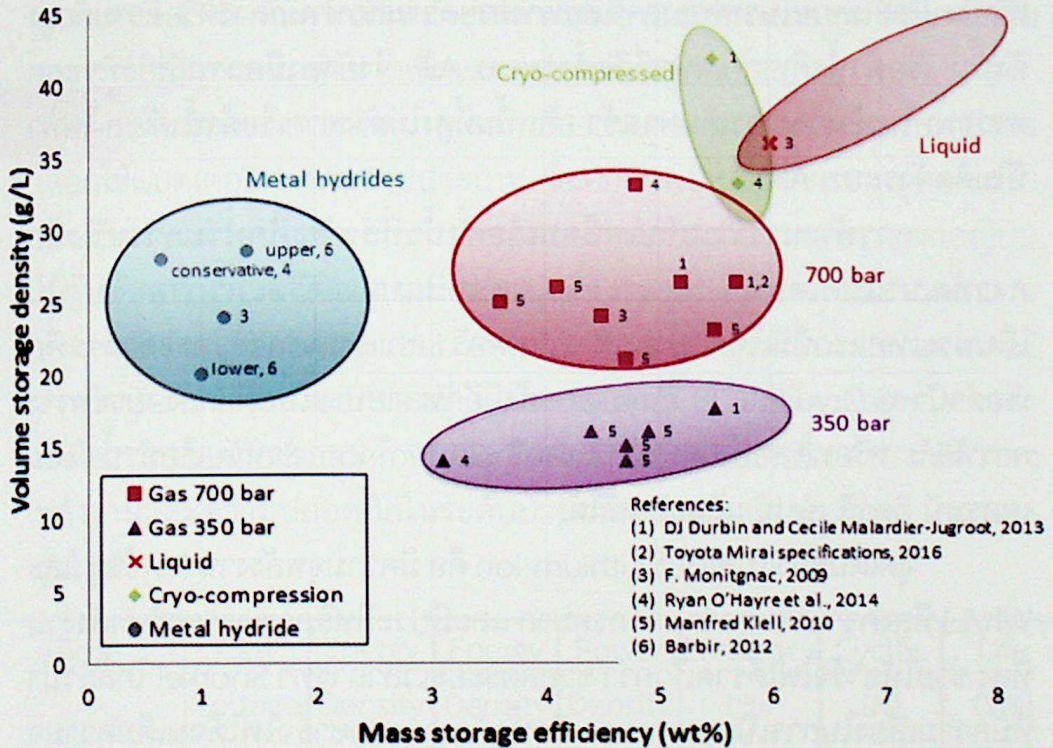
เป็นต้นมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บพลังงานในแบตเตอรี่สำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนใต้น้ำ ซึ่งเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าในปัจจุบันใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการขับเคลื่อนทั้งบนผิวน้ำและใต้น้ำ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้น และต่อมาในช่วงสงครามเย็นได้มีการพัฒนาระบบขับเคลื่อนนิวเคลียร์ที่ช่วยให้เรือดำน้ำมีขีดความสามารถในการซ่อนพรงใต้น้ำได้อย่างแท้จริงโดยไม่ต้องพึ่งพาอากาศจากบนผิวน้ำ และมีระยะเวลาปฏิบัติการใต้น้ำที่ถูกจำกัดด้วยเสบียงอาหารและความอดทนของมนุษย์เท่านั้น

ในส่วนของเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบ AIP (Air Independent Propulsion) ช่วยให้เรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าสามารถปฏิบัติการใต้น้ำต่อเนื่องได้นานขึ้น โดยหลักการทำงานของระบบ AIP คือ การนำออกซิเจนเหลวและเชื้อเพลิงไปกับเรือดำน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยไม่ต้องใช้อากาศจากภายนอก ระบบ AIP ได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลายแบบ เช่น ระบบ AIP แบบ Stirling Engine ที่ใช้หลักการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายนอกในการผลิตกระแสไฟฟ้า และมีใช้ในเรือดำน้ำของสวีเดน ญี่ปุ่น และจีน รวมทั้งเรือดำน้ำ S26T ที่กองทัพเรือกำลังจัดหาจากจีนด้วย

ข้อจำกัดของระบบ AIP ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการสันดาป เช่น ระบบ Stirling Engine คือ ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Efficiency) ที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากต้องแปลงพลังงานความร้อนจากการสันดาปเป็นพลังงานกลก่อนที่จะแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า และการมีไอเสียจากการสันดาปทำให้แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีระบบ AIP ในอนาคตเปลี่ยนไปเป็นแบบ Fuel Cell ที่ใช้หลักการปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนแทนการสันดาปในการผลิตกระแสไฟฟ้า ช่วยให้ประสิทธิภาพดีกว่า และผลผลิตที่ได้มีเพียงกระแสไฟฟ้ากับน้ำเท่านั้น

ระบบ AIP แบบ Fuel Cell เริ่มมีใช้ในเรือดำน้ำชั้น 212A ของเยอรมนีในปี ค.ศ. ๒๐๐๓^๒ และปัจจุบันมีประเทศที่กำลังพัฒนาระบบ AIP แบบ Fuel Cell ในเรือดำน้ำทางทหาร ได้แก่ ฝรั่งเศส สเปน อินเดีย เกาหลีใต้ และรัสเซีย อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าระบบ AIP แบบ Fuel Cell จะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบ AIP แบบอื่น แต่ก็มีความยุ่งยากในการเก็บไฮโดรเจนไปกับเรืออย่างปลอดภัย และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การพัฒนาระบบ AIP แบบ Fuel Cell

ในเรือดำน้ำเป็นไปอย่างล่าช้า ยกเว้นเยอรมนีที่เลือกใช้วิธีจัดเก็บไฮโดรเจนในรูปแบบของ Metal Hydride ที่ให้ก๊าซแทรกตัวอยู่ในโลหะที่เป็นของแข็งและเป็นวิธีจัดเก็บที่มีความปลอดภัยสูง แต่ก็ต้องแลกด้วยประสิทธิภาพการจัดเก็บที่ต่ำในเชิงน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักและปริมาตรนับเป็นข้อจำกัดสำคัญในการออกแบบโครงสร้างเรือดำน้ำ



ภาพที่ ๒ ประสิทธิภาพการจัดเก็บไฮโดรเจนในรูปแบบต่าง ๆ แสดงถึงประสิทธิภาพการจัดเก็บเชิงน้ำหนัก (แกนนอน) ค่ายิ่งมกยิ่งดี คือ เก็บไฮโดรเจนได้มากต่อน้ำหนัก กับความหนาแน่นการจัดเก็บเชิงปริมาตร (แกนตั้ง) ค่ายิ่งมกยิ่งดี คือ เก็บไฮโดรเจนได้มากต่อปริมาตร

ที่มา : Nevesbu, Undersea Defense Technology 2019

แนวความคิดการพัฒนาระบบ AIP แบบ Fuel Cell ของหลายประเทศในปัจจุบันเป็นการผลิตไฮโดรเจนด้วย Hydrogen Reformer จากสารไฮโดรคาร์บอน เช่น Methanol หรือน้ำมันดีเซล ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวที่สามารถจัดเก็บได้ง่าย แต่ข้อด้อยของระบบ Hydrogen Reformer คือ ผลผลิตข้างเคียงที่ไม่ต้องการ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และสารเคมีอื่นซึ่งขึ้นอยู่กับ

กับสารตั้งต้นที่นำมาใช้กับ Hydrogen Reformer เช่น กำมะถันในกรณีของ น้ำมันดีเซล ซึ่งต้องกำจัดออกนอกตัวเรือ

อย่างไรก็ดี ระบบ AIP ทุกแบบมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ การให้กำลังไฟฟ้าที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้น ระบบ AIP จึงเป็นเพียงแหล่งพลังงานเสริมสำหรับใช้งานในช่วงการลาดตระเวนที่ความเร็วต่ำเท่านั้น และไม่ช่วยในระหว่างการเดินทางด้วยความเร็วปานกลางหรือความเร็วสูง ดังนั้น เรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบ AIP จึงยังคงมีความเสี่ยงที่จะถูกตรวจพบในระหว่างการเดินทางเข้า-ออกพื้นที่สูงไม่ต่างจากเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าที่ไม่ติดตั้งระบบ AIP

การพัฒนาระบบขับเคลื่อนเรือดำน้ำที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การพัฒนาแบตเตอรี่ Lithium-ion ทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ซึ่งญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่มีเรือดำน้ำติดตั้งแบตเตอรี่ Lithium-ion เข้าประจำการ คือ เรือดำน้ำ JS Oryu และ JS Toryu และยังมีอีกหลายประเทศที่กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาหรือทดสอบทดลองแบตเตอรี่ Lithium-ion สำหรับเรือดำน้ำ เช่น เยอรมนี อิตาลี สเปน และเกาหลีใต้

จุดเด่นของแบตเตอรี่ Lithium-ion คือ มีความจุพลังงาน (Wh/kg และ Wh/L) ที่สูงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดมาก และมีประสิทธิภาพการชาร์จพลังงานที่สูง ช่วยให้ชาร์จไฟได้รวดเร็วกว่า ช่วยลดระยะเวลาการทำ Snorkel ใกล้เคียงน้ำที่มีความเสี่ยงในการเปิดเผยตนเอง อีกทั้งยังสามารถชาร์จไฟได้จนเต็มความจุ โดยไม่มีข้อจำกัด ในขณะที่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะทำการชาร์จไฟในทะเลได้ถึง Gas Voltage ที่แบตเตอรี่จะเริ่มปล่อยก๊าซไฮโดรเจนเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถชาร์จไฟได้เต็มที่ขณะอยู่ในทะเล (การชาร์จไฟถึง Gas Voltage จะต้องทำในท่าเรือตามวงรอบการบำรุงรักษาแบตเตอรี่และต้องมีการระบายอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนในเรือดำน้ำ) นอกจากนี้แบตเตอรี่ Lithium-ion ยังต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่าและมีอายุการใช้งานที่นานกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ดังนั้น ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ Lithium-ion จะมีราคาในการจัดหาสูงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในระหว่างอายุการใช้งานที่ต่ำ

แบตเตอรี่ Lithium-ion ในปัจจุบันมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมี เช่น แบตเตอรี่ Lithium Nickel Cobalt Aluminum

Oxide (LiNiCoAlO_2) หรือ NCA แบตเตอรี่ Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO_2) หรือ NMC และแบตเตอรี่ Lithium Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) หรือ LTO ซึ่งแบตเตอรี่ Lithium-ion แต่ละประเภทมีความจุพลังงานและคุณลักษณะอื่นที่แตกต่างกันไป และมีการนำไปใช้ที่ต่างกัน เช่น แบตเตอรี่ NCA กับ NMC มีความจุพลังงานสูงจึงนิยมใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า และ แบตเตอรี่ LTO ที่มีความจุพลังงานต่ำและมีความปลอดภัยสูง จึงนิยมใช้ใน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและอุปกรณ์การแพทย์

ในส่วนของ การพัฒนาแบตเตอรี่ Lithium-ion สำหรับเรือดำน้ำ มีการเลือกใช้แบตเตอรี่หลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบ และผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่น เรือดำน้ำของกองกำลังป้องกันตนเองทางทะเลญี่ปุ่น ใช้แบตเตอรี่ NCA เนื่องจากมีความจุพลังงานสูงมาก โดยเป็นการทดแทนทั้งแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและระบบ AIP แบบ Stirling Engine ในขณะที่แบตเตอรี่ สำหรับเรือดำน้ำรุ่นส่งออกของญี่ปุ่นเป็นแบตเตอรี่ LTO ที่มีความจุพลังงานต่ำ แต่มีความปลอดภัยมากกว่า^๓ หรืออิตาลีที่กำลังพัฒนาแบตเตอรี่ NMC ที่มีความจุพลังงานและความปลอดภัยในระดับปานกลางสำหรับเรือดำน้ำชั้น 212NFS รุ่นใหม่^๔

Type	Cell Voltage (V)	Energy Density (Wh/kg)	Energy Density (Wh/L)	Power Density (W/kg)	Efficiency (%)	Cycles (N)	Life (Yrs)	
Type	2.0	30-40	60-75	180	70-85	600-1500	5-12	
Li-ion	LCO	3.6	160	270	1800	99	1200	5
	NCA	3.6	240	600	1000	98	3000	15
	LMO	4.0	140	250	2000	98	2000	10
	NMC	3.7	140-160	300	3000	98	5000	10
	LFP	3.25	100-140	220	6000	98	3000	10
	LTO	2.3	90	160	10000	95	10000	20

ตารางที่ ๑ ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะแบตเตอรี่ Li-ion และแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

ที่มา : Vincenzo Pennino, Lithium-ion Battery for U212NFS, 2019

ด้านความเสี่ยงและอันตรายจากแบตเตอรี่ ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด จะมีความเสี่ยงในการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากการใช้งาน และการเกิดก๊าซคลอรีน จากการสัมผัสน้ำทะเล แต่แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นเทคโนโลยีเก่าที่มีใช้มา ตั้งแต่เรือดำน้ำในยุคก่อนสงครามโลก ทำให้ความเสี่ยงดังกล่าว มีข้อมูลเป็นที่รู้จัก เป็นอย่างดีและมีมาตรการป้องกันที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ Lithium-ion ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่และถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีข้อมูลความเสี่ยงการเกิด ปรากฏการณ์ Thermal Runaway (การเกิดความร้อนและบวม เมื่อแบตเตอรี่ ต่อกับชาร์จเจอร์) อยู่บ้าง แต่ยังไม่เคยมีการใช้งานจริงในแบตเตอรี่ขนาดใหญ่อย่าง แบตเตอรี่เรือดำน้ำมาก่อน และยังคงต้องรอการศึกษาข้อมูลการใช้งานจริง เปรียบเทียบกับผลการศึกษาจากแบบจำลองต่อไป

เทคโนโลยีการสื่อสารดิจิตอลใต้น้ำ

หนึ่งในข้อจำกัดสำคัญของเรือดำน้ำคือ การสื่อสาร เนื่องมาจาก ทั้งเหตุผลด้านการปฏิบัติการและด้านหลักฟิสิกส์ของการแพร่คลื่น โดยเรือดำน้ำ จะพยายามจำกัดการสื่อสารให้น้อยที่สุดเพื่อลดการเปิดเผยตัว และการสื่อสาร จากสถานีฝั่งไปยังเรือดำน้ำจะเป็นการสื่อสารทางเดียวในลักษณะของการ Broadcast ตามวงรอบโดยที่เรือดำน้ำไม่จำเป็นต้องตอบรับในทันที

ในด้านหลักฟิสิกส์ของการแพร่คลื่น การดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในน้ำทะเลมีมากกว่าในอากาศประมาณ ๓,๐๐๐ เท่า และความถี่ยิ่งสูงขึ้น การดูดกลืนจะยิ่งสูงมากขึ้น ส่งผลให้คลื่นวิทยุส่วนมากไม่สามารถเดินทางผ่าน น้ำทะเลได้ ในขณะที่คลื่นเสียงเดินทางในน้ำทะเลได้ดีกว่าในอากาศ โดยคลื่นเสียง เดินทางในน้ำทะเลได้เร็วกว่าในอากาศประมาณ ๕ เท่า

การสื่อสารของเรือดำน้ำแบ่งได้เป็น ๒ ลักษณะ คือการสื่อสาร เหนือผิวน้ำ และการสื่อสารใต้น้ำ ในส่วนของการสื่อสารเหนือผิวน้ำ เรือดำน้ำ สามารถใช้การสื่อสารทางวิทยุในย่านความถี่ต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับเรือผิวน้ำ แต่เรือดำน้ำจำเป็นต้องซักสายอากาศสื่อสารขึ้นเหนือผิวน้ำซึ่งจะเพิ่ม ความเสี่ยงในการถูกตรวจจับของฝ่ายตรงข้ามได้

การสื่อสารใต้น้ำของเรือดำน้ำสามารถทำได้โดยใช้คลื่นวิทยุ ย่านความถี่ต่ำมาก หรือ VLF (Very Low Frequency) ที่สามารถเดินทาง ผ่านความลึกน้ำลงไปได้ประมาณ ๒๐ ม. อย่างไรก็ตาม คลื่นวิทยุย่าน VLF มีความยาวคลื่นในช่วง ๑๐-๑๐๐ กม. ทำให้ต้องใช้สายอากาศส่งขนาดใหญ่ กับสถานีส่งที่มีการลงทุนสูงมาก และความยาวคลื่นกับกำลังส่งที่สูงมาก

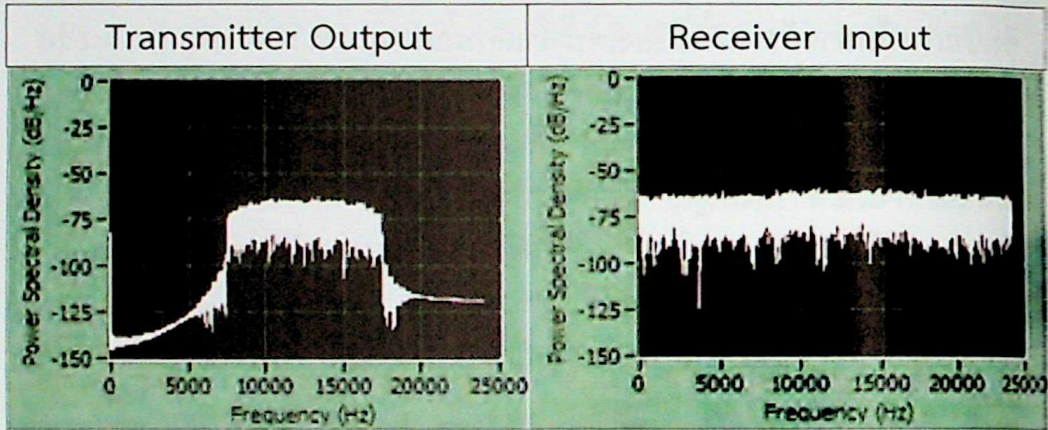
ทำให้การสื่อสารย่านความถี่ VLF เป็นการสื่อสารทางเดียวจากสถานีฝั่ง ไปยังเรือดำน้ำเท่านั้น ส่วนเรือดำน้ำยังคงต้องติดต่อกลับไปยังสถานีฝั่ง ทางย่านความถี่ HF หรือการสื่อสารดาวเทียม ด้วยเหตุนี้จึงมีเพียงไม่กี่ประเทศ ที่ลงทุนสร้างสถานีสื่อสารย่าน VLF

การสื่อสารใต้น้ำของเรือดำน้ำอีกรูปแบบหนึ่งคือ การใช้โทรศัพท์ใต้น้ำ ซึ่งเป็นการสื่อสารด้วยคลื่นเสียงใต้น้ำในลักษณะของการรับ-ส่งสัญญาณมอร์ส ทางคลื่น CW และสื่อสารทางเสียงด้วยการผสมคลื่นแบบ AM (Amplitude Modulation) อย่างไรก็ตาม การสื่อสารทางเสียงด้วยโทรศัพท์ใต้น้ำมีระยะ ไม่ไกลมาก และการส่งสัญญาณมอร์สทางคลื่น CW กับการผสมคลื่นแบบ AM สามารถถูกดักจับและถอดข้อความจากสัญญาณได้ง่าย ดังนั้น โทรศัพท์ใต้น้ำ จึงใช้ในการสื่อสารระยะใกล้ในการฝึกหัดระหว่างเรือดำน้ำกับเรือผิวน้ำ หรือ ระหว่างเรือดำน้ำกับเรือดำน้ำ และเป็นอุปกรณ์การสื่อสารฉุกเฉินในการช่วยเหลือ ภัยเรือดำน้ำที่ประสบเหตุฉุกเฉินใต้น้ำ

ความยุ่งยากของการสื่อสารใต้น้ำคือ ความไม่แน่นอนของลักษณะ สภาพแวดล้อมใต้น้ำและสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดอื่น ซึ่งถึงแม้ว่า คลื่นเสียงจะเดินทางในน้ำได้ดี แต่การเดินทางของคลื่นเสียงใต้น้ำก็ได้รับ ผลกระทบจากความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมใต้น้ำเป็นอย่างมาก เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม และความกดอากาศ นอกจากนี้สภาพแวดล้อมใต้น้ำ ยังมีเสียงรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ค่อนข้างมาก ทำให้การสื่อสารใต้น้ำนอกเหนือ ไปจากโทรศัพท์ใต้น้ำที่ใช้รูปแบบการสื่อสารอย่างง่าย เช่น CW และการผสมคลื่น แบบ AM เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก อย่างไรก็ตาม ในช่วง ๑๐ ปีที่ผ่านมา การพัฒนา ด้านแบบจำลองสภาพแวดล้อมใต้น้ำและการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ช่วยให้การสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำมีความเป็นไปได้มากขึ้น

การสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำคือ การแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล และทำการส่งสัญญาณด้วยการผสมสัญญาณไปกับคลื่นเสียงใต้น้ำในลักษณะ เดียวกับของโมเด็มโทรศัพท์ ซึ่งมีข้อดีคือเป็นการเพิ่มความอ่อนตัวและ เพิ่มรูปแบบการสื่อสารที่มีมากขึ้นกว่าสัญญาณมอร์สและสัญญาณเสียง เช่น การส่งข้อความสั้น การรายงานข้อมูลเป้า และการวัดระยะ (Digital Distance Measurement Function) ที่ช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ กับเพิ่มความรวดเร็วและความแม่นยำในการปฏิบัติ นอกจากนี้ความก้าวหน้า ในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลยังช่วยให้สามารถใช้เทคนิคต่าง ๆ ร่วมกับ

การสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำ เช่น การใช้เทคนิค Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ในโหมด MASQ (Multichannel Acoustic Signaling Quality of Service) ของโทรศัพท์ใต้น้ำ UT3000 ที่ช่วยลดการถูกรบกวนสัญญาณและลดการเปิดเผยตัว



ภาพที่ ๓ เทคนิคการผสมคลื่นแบบ MASQ Spread Spectrum ในโทรศัพท์ใต้น้ำ UT3000
ที่มา : UT3000 MASQ, L3 ELAC Nautik, 2011

ที่ผ่านมารูปแบบการสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำจะเป็นรูปแบบเฉพาะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และผู้ผลิต ซึ่งผู้ส่งและผู้รับจะต้องใช้อุปกรณ์เดียวกัน หรือ อุปกรณ์จากผู้ผลิตเดียวกัน ส่งผลให้ยังไม่มีการใช้งานเป็นที่แพร่หลาย และหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการทำให้การสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำมีความเป็นไปได้ ในทางปฏิบัติคือ การกำหนดมาตรฐานกลางที่เป็นที่ยอมรับของผู้ผลิตต่าง ๆ ซึ่งศูนย์วิจัยและทดลองทางทะเล หรือ Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE) ของนาโตได้กำหนดมาตรฐาน Protocol การสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำ เรียกว่า JANUS^๖ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นมาตรฐานเปิดสำหรับนานาชาติ ประกอบด้วย รูปแบบการผสมคลื่น และรูปแบบ Data Packet ที่รองรับอุปกรณ์และโทรศัพท์ใต้น้ำที่มีอยู่ในปัจจุบัน และมีความอ่อนตัวต่อความไม่แน่นอนและการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมใต้น้ำ

การสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำ ช่วยเพิ่มความเร็วและความถูกต้องแม่นยำของการรับ-ส่งข้อมูล และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภารกิจได้หลากหลาย

ตัวอย่างเช่น การช่วยเหลือกู้ภัยเรือดำน้ำ การส่งข้อมูลเป้าและภาพสถานการณ์ผิวน้ำให้กับเรือดำน้ำ และการปฏิบัติการร่วมกันระหว่างเรือดำน้ำกับยานใต้น้ำไร้คนขับ โดยศูนย์วิจัย CMRE ของนาโต้ ได้ทดลองการส่งข้อมูลเรือดำน้ำที่ประสบเหตุฉุกเฉินใต้น้ำตามบรรณสาร ATP-57 The Submarine Search and Rescue Manual ในการฝึก Dynamic Monarch 2017 พบว่าการสื่อสารทางข้อความด้วยมาตรฐานการสื่อสารดิจิทัลใต้น้ำ JANUS ใช้เวลาเพียง ๓ วินาที ในขณะที่การส่งข้อมูลเดียวกันทางเสียงผ่านโทรศัพท์ใต้น้ำต้องใช้เวลาราว ๗๘ วินาที



JANUS-based service for AIS and Distress

Info visualized on GUI at the control station and on the Arpão



JANUS-Based AIS

- Contacts from GPS, AIS, AUVs, operator transmitted via JANUS to the Arpão
- Arpão willing to inject contacts in her combat system

```
>>> DISTRESS <<< At 25
PT
Pos: 38N21.8394 5W5.133
Speed/Heading: 3.3 knt | 78°
Depth: 80 m
O2: 20.3% | CO2: 2.9%
CO: 1.0 ppm | H2: 0.3%
Pressure: 1.0 atm
Temperature: 21.0°C
Survivors: 35 pax
```

JANUS-Based Distress

Status and position transmitted from the Arpão and received at the control station

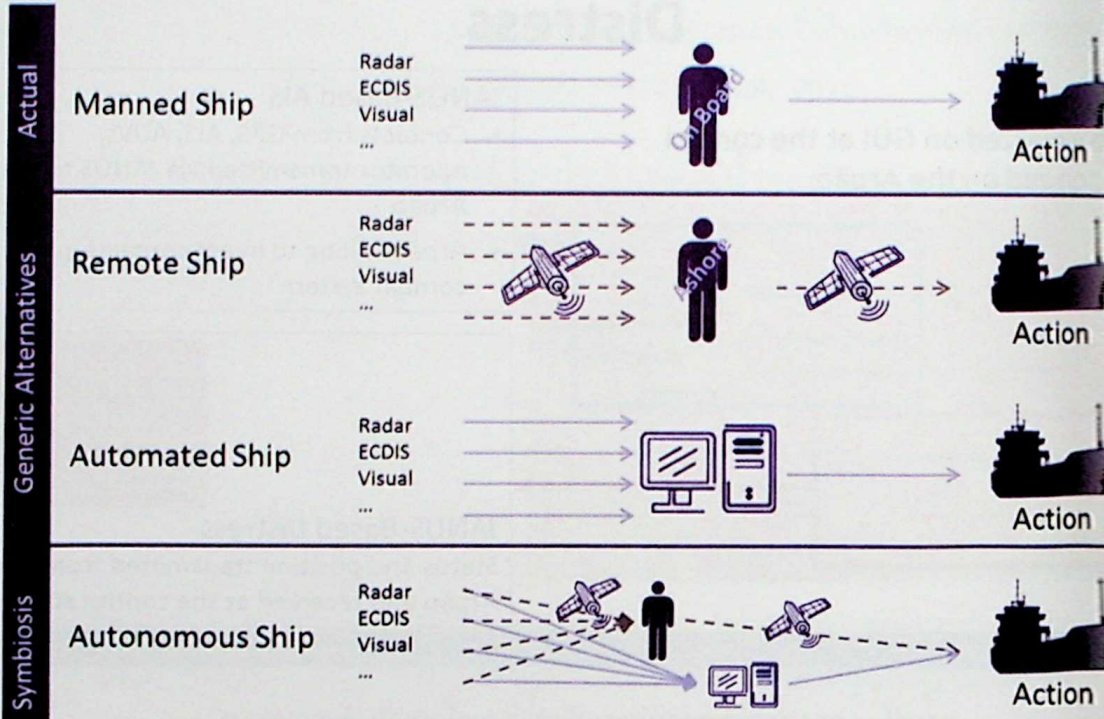
ภาพที่ ๔ การส่งภาพสถานการณ์ผิวน้ำและข้อมูลอื่นด้วย JANUS

ในการฝึกสาธิตร่วมกับกองทัพเรือโปรตุเกส

ที่มา : JANUS: A New Digital Underwater Communications Capability
for SMER, NATO SMERWG 2019

เทคโนโลยี Artificial Intelligence กับการปฏิบัติการเรือดำน้ำ

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ หรือ Artificial Intelligence (AI) เป็นเทคโนโลยีระบบประมวลผลที่มีการวิเคราะห์เชิงลึกและสามารถเรียนรู้ได้จากข้อมูลที่มีอยู่จำนวนมาก คล้ายกับความสามารถในการวิเคราะห์และเรียนรู้ของมนุษย์ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจและการแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีการศึกษาวิจัยและการนำมาใช้ในทางทหาร โดยเครือข่ายความร่วมมือการวิจัย MUNIN (Maritime Unmanned Navigation Through Intelligence in Networks) ของสหภาพยุโรป ได้แบ่งระดับการใช้งานเทคโนโลยี AI ในส่วนของการปฏิบัติการทางเรือออกเป็น การใช้มนุษย์ควบคุมทั้งหมด (Manned และ Remote) กับการใช้ AI มาช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ (Automated และ Autonomous)



ภาพที่ ๕ ระดับการใช้เทคโนโลยี AI ร่วมกับมนุษย์
ที่มา : เครือข่ายความร่วมมือการวิจัย MUNIN

ในส่วนของการปฏิบัติการเรือดำน้ำ การใช้งานเทคโนโลยี AI ที่ทำงานโดยอิสระยังเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความซับซ้อนของสภาพแวดล้อมใต้น้ำ ข้อจำกัดในการสื่อสารใต้น้ำ รวมถึงความเสี่ยงอันตรายและความรุนแรงของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้หากเกิดข้อผิดพลาด โดยแนวความคิดการใช้เทคโนโลยี AI ในปัจจุบันจะเป็นการสนับสนุนการวิเคราะห์และการตัดสินใจของมนุษย์ที่เป็นผู้ปฏิบัติงานในลักษณะของ Augmented Intelligence มากกว่าที่จะเป็นระบบอิสระในลักษณะของ Automated System หรือ Autonomous System

แนวความคิดการใช้งานเทคโนโลยี AI สนับสนุนการตัดสินใจของมนุษย์ในเรือดำน้ำที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน จะเน้นไปที่การใช้งานในระบบตรวจจับเพื่อแยกแยะ ติดตาม และพิสูจน์ทราบเป้า ทั้งในส่วนของโซนาร์ที่เป็นระบบตรวจจับหลักของเรือดำน้ำ และระบบตรวจจับอื่น เช่น กล้อง Periscope โดยเป้าเรือแต่ละประเภทจะมีลักษณะและองค์ประกอบของความถี่เสียงที่ต่างกันไป ซึ่งการใช้เทคโนโลยี AI ในระบบโซนาร์จะช่วยในการพิสูจน์ทราบเป้า โดยแยกแยะรูปแบบ (Pattern Recognition) และวิเคราะห์ลักษณะของเส้นความถี่เสียงที่ตรวจจับได้จากโซนาร์ Passive ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวน ด้วยการเรียนรู้จากฐานข้อมูลความถี่เสียงของเป้าประเภทต่าง ๆ

อีกแนวความคิดหนึ่งในการใช้เทคโนโลยี AI ในการปฏิบัติการเรือดำน้ำ คือ การช่วยแยกแยะและพิสูจน์ทราบเป้าจากกล้อง Periscope และกล้อง Optronic ซึ่งเรือดำน้ำจะพยายามใช้กล้อง Periscope และกล้อง Optronic ให้น้อยที่สุดเพื่อเป็นการซ่อนพรางและลดความเสี่ยงในการถูกตรวจจับ และในอดีตนายทหารยามเรือดำน้ำจะถูกฝึกให้แยกแยะ พิสูจน์ทราบ และรวบรวมข้อมูลเป้าด้วยสายตาอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่วินาที เพื่อลดเวลาการชกกล้องขึ้นเหนือผิวน้ำ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนากล้อง Optronic ที่สามารถหมุนตรวจการณ์ได้อย่างรวดเร็วและถ่ายภาพเก็บไว้เพื่อทำการวิเคราะห์ในภายหลัง แต่การวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้อง Optronic ยังคงต้องทำโดยผู้ปฏิบัติงานที่อาจต้องใช้เวลาและมีโอกาสมองไม่เห็นเป้าหมายขนาดเล็กกระยะไกลได้ ซึ่งเทคโนโลยี AI สามารถทำงานร่วมกับกล้อง Periscope และ Optronic

เพื่อช่วยในการตรวจจับและแยกแยะเป้าที่มองเห็นได้ยากได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น ช่วยลดความเสี่ยงในการเปิดเผยตัวและเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการของเรือดำน้ำ

Digital Crew – Automated Intelligence



- **Digital Crew: Artificial intelligence and machine learning**
 - **Automatically detect, classify and track targets**
 - **Quick Look Round (QLR) – programmable options**
 - **Minimum exposure and maximum performance with lowest signature**

ภาพที่ ๖ การใช้ AI ช่วยแยกแยะและติดตามเป้าจากฉากหลังในกล้อง Periscope เรือดำน้ำ
ที่มา : Thales UK

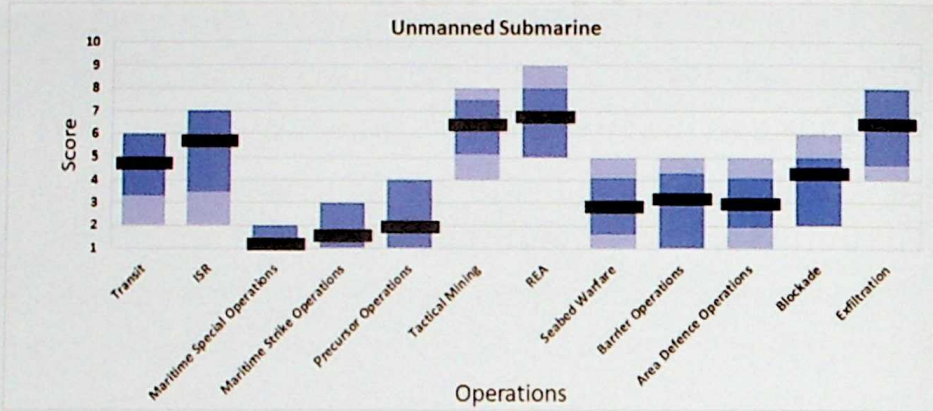
เทคโนโลยียานใต้น้ำไร้คนขับและเรือดำน้ำขนาดเล็ก

จากความสำเร็จในการพัฒนาและการใช้งานเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) กับยานผิวน้ำไร้คนขับ (Unmanned Surface Vehicle: USV) ในปัจจุบัน ทำให้เทคโนโลยียานใต้น้ำไร้คนขับ หรือ UUV (Unmanned Underwater Vehicle) กำลังเป็นที่สนใจในหลายประเทศ อย่างไรก็ตาม สาเหตุที่ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยียานใต้น้ำไร้คนขับเกิดขึ้นช้ากว่าการพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและยานผิวน้ำไร้คนขับคือ สภาพแวดล้อมใต้น้ำที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการตรวจการณ์และการสื่อสาร ส่งผลให้การพัฒนาานใต้น้ำไร้คนขับมีความท้าทายที่จะต้อง

สามารถปฏิบัติการได้โดยอาศัยการควบคุมน้อยกว่าอากาศยานไร้คนขับ และยานใต้น้ำไร้คนขับ และต้องสามารถตรวจจับและพิสูจน์ทราบเป้า จากโซนาร์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวนได้ด้วยตัวเอง

หนึ่งในคำถามที่น่าสนใจคือ ยานใต้น้ำไร้คนขับในอนาคตจะเข้ามาทดแทนเรือดำน้ำ และส่งผลให้เรือดำน้ำกลายเป็นอาวุธที่ล้าสมัยได้หรือไม่ ซึ่งสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์ของเนเธอร์แลนด์ หรือ TNO (Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยานใต้น้ำไร้คนขับทดแทนเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้า ในหัวข้อ The Unmanned Underwater Vehicle: An Alternative for the SSK or a Valuable Addition? เป็นส่วนหนึ่งของการเตรียมโครงการเรือดำน้ำทดแทนเรือดำน้ำชั้น Walrus โดยได้กำหนดเป้าหมายหลักทางยุทธศาสตร์ ๔ ประการ ในการทดแทนเรือดำน้ำ ได้แก่ การสร้างอิทธิพลทางยุทธศาสตร์ การโจมตีที่รุนแรงและแม่นยำ การรวบรวม-วิเคราะห์-แลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร และการปฏิบัติการพิเศษ และพิจารณาขีดความสามารถของยานใต้น้ำไร้คนขับที่ควรจะมีในปี ค.ศ. ๒๐๒๗ (ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เรือดำน้ำชั้น Walrus จะถูกทดแทน) จากพื้นฐานเทคโนโลยีในปี ค.ศ. ๒๐๑๘ กับการประเมินการปฏิบัติการกิจ ๑๒ แบบ ด้วยวิธี Delphi ประยุกต์จากผู้เชี่ยวชาญ ๘ คน ในการให้คะแนนความเหมาะสม ๑-๑๐ คะแนน ผลการประเมินพบว่า การพัฒนาเทคโนโลยียานใต้น้ำไร้คนขับยังไม่สามารถทดแทนความต้องการเรือดำน้ำของกองทัพเรือเนเธอร์แลนด์ ในปี ค.ศ. ๒๐๒๗ ได้ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะปฏิบัติการและอำนาจการยิง การพัฒนาระบบ AI ที่ยังไม่สามารถทำให้ยานใต้น้ำปฏิบัติการได้โดยอิสระในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายที่สูงเกินไป ในการพัฒนาระบบที่มีขีดความสามารถตรงตามความต้องการ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ยานใต้น้ำไร้คนขับสามารถเป็นตัวทวีกำลัง (Force Multiplier) ที่ช่วยเสริมขีดความสามารถของเรือดำน้ำ และข้อมูลจากการปฏิบัติการร่วมกันระหว่างเรือดำน้ำกับยานใต้น้ำไร้คนขับในอนาคต จะสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับที่ปฏิบัติการได้โดยอิสระอย่างสมบูรณ์หรือ Autonomous Underwater Vehicle (AUV)

SCORES OF THE UNMANNED SUBMARINE AGAINST THE 12 NOTIONAL OPERATIONS

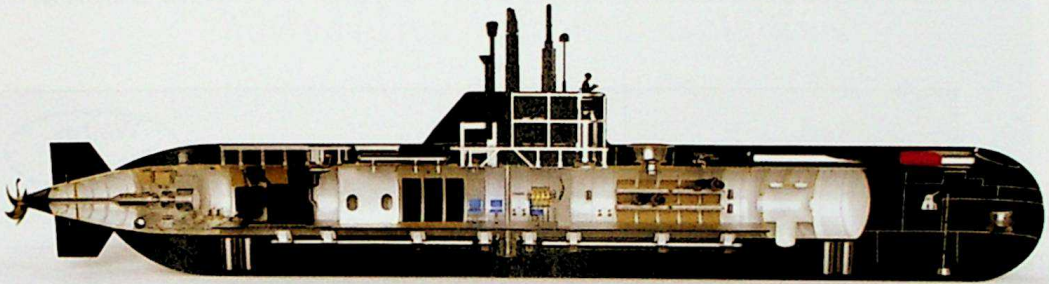


ภาพที่ ๗ ผลการประเมินการใช้นาฬิกาไร้คนขับในภารกิจ ๑๒ แบบ ของเนเธอร์แลนด์ แสดงให้เห็นว่าภารกิจที่เหมาะสมกับนาฬิกาไร้คนขับคือการรวบรวมข่าวสาร (ISR) การวางทุ่นระเบิด การรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อม (REA) และการเล็ดลอดออกจากพื้นที่
ที่มา : Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO)

จากข้อจำกัดของเทคโนโลยีนาฬิกาไร้คนขับในปัจจุบันที่ยังไม่สามารถทดแทนเรือดำน้ำที่มีคนปฏิบัติงานภายในได้ ทำให้เรือดำน้ำขนาดเล็กหรือ Midget Submarine ยังคงเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นทางเลือกตรงกลางระหว่างนาฬิกาไร้คนขับ กับเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าขนาดกลาง ที่มีความเหมาะสมกับภารกิจการป้องกันฝั่งและการปฏิบัติการพิเศษ โดยเรือดำน้ำขนาดเล็กมีข้อได้เปรียบในการปฏิบัติการในพื้นที่จำกัดใกล้ชายฝั่งคล้ายกับนาฬิกาไร้คนขับ แต่การมีคนบังคับอยู่ภายใน ส่งผลให้สามารถประมวลข้อมูลและทำการตัดสินใจในพื้นที่ปฏิบัติการได้ดีกว่าเทคโนโลยีนาฬิกาไร้คนขับ ส่งผลให้ในปัจจุบันยังคงมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เกี่ยวกับเรือดำน้ำขนาดเล็ก

ข้อได้เปรียบหลักของเรือดำน้ำขนาดเล็กคือ ความสามารถในการปฏิบัติการในพื้นที่จำกัดใกล้ฝั่ง ตัวอย่างเช่น เรือดำน้ำขนาดเล็ก แบบ DG160 จากบริษัท Drass ของอิตาลี ที่ถูกออกแบบให้มีความคล่องตัวในพื้นที่ปฏิบัติการ

ที่มีความลึกน้ำน้อยกว่า ๒๐๐ ม. มีความยาวประมาณ ๓๒ ม. ระวังระดับน้ำ ๑๖๙ ตัน ใช้กำลังพลประจำเรือ ๗ นาย รองรับชุดปฏิบัติการพิเศษ ๘ นาย ใช้ระบบขับเคลื่อนดีเซล-ไฟฟ้า มีระยะปฏิบัติการไกลสุด ๒,๐๐๐ ไมล์ทะเล ติดตั้งตอร์ปิโดหนักขนาด ๕๓๓ มม. จำนวน ๒ ลูก รองรับยาน SDV (Swimmer Delivery Vehicle) สำหรับรับ-ส่งชุดปฏิบัติการพิเศษได้ ๒ ลำ และสามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านข้างตัวเรือ (Lateral Equipment) ได้แก่ ท่อยิงตอร์ปิโดหนักขนาด ๕๓๓ มม. เพิ่มเติมจำนวน ๒ ลูก หรือเรือยางสำหรับชุดปฏิบัติการพิเศษ หรือทุ่นระเบิด จำนวน ๖ ลูก นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นที่สำคัญคือ สามารถถอดแยกชิ้นส่วนตัวเรือทนความดันได้เป็น ๔ ส่วน เพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุงและการขนส่งทางบก

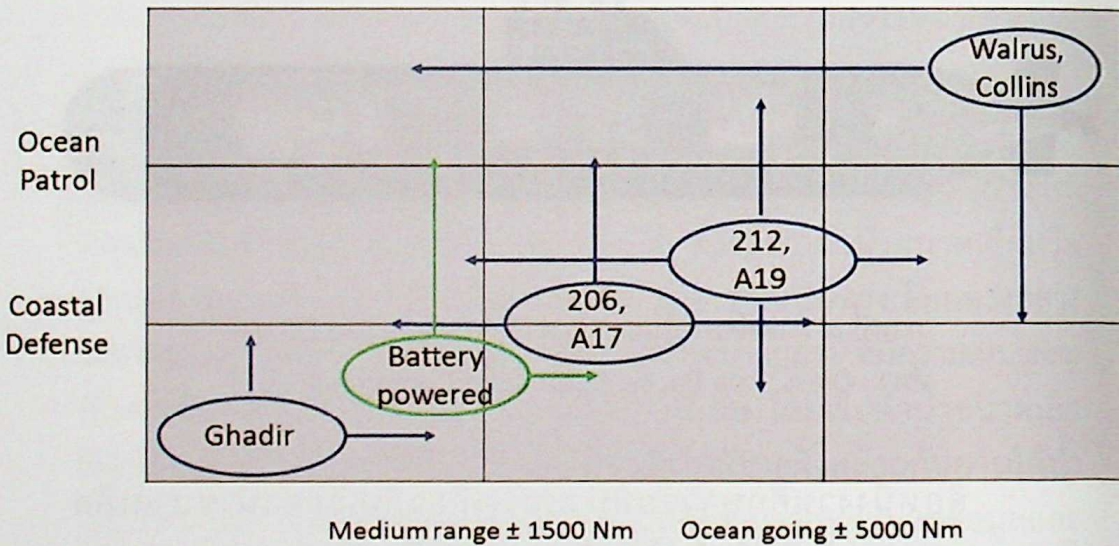


ภาพที่ ๘ ภาพตัดภายในของเรือดำน้ำขนาดเล็กแบบ DG160

ที่มา : Drass, Asia Pacific Submarine Conference 2017

อีกหนึ่งงานศึกษาวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับเรือดำน้ำขนาดเล็ก คือ การออกแบบเรือดำน้ำที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ Lithium-ion เพียงอย่างเดียวโดยบริษัท Nevesbu ของเนเธอร์แลนด์^{๑๐} ซึ่งมีข้อดีในการช่วยลดการเปิดเผยตัว เนื่องจากไม่จำเป็นต้อง Snorkel เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ ลดความซับซ้อนของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและระบบน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง โดยบริษัท Nevesbu ได้ทดลองปรับปรุงจากต้นแบบเรือดำน้ำชั้น Moray ที่มีระวางขับน้ำบนผิวน้ำ ๑,๗๐๐ ตัน

แต่ติดตั้งแบตเตอรี่ Lithium-ion แบบ NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) ทั้งหมดโดยไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ผลการคำนวณพบว่าเรือดำน้ำชั้น Moray ติดตั้งแบตเตอรี่ Lithium-ion โดยไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะมีระยะปฏิบัติการไกลสุดประมาณ ๒,๐๐๐ ไมล์ทะเล และมีระยะเวลาปฏิบัติการประมาณ ๒ สัปดาห์ ซึ่งน้อยเกินไปสำหรับเรือดำน้ำขนาดกลางระหว่างขั้วน้ำประมาณ ๑,๕๐๐ - ๑,๗๐๐ ตัน ในปัจจุบันที่มีระยะปฏิบัติการไกลสุดประมาณ ๑๐,๐๐๐ ไมล์ทะเล และมีระยะเวลาปฏิบัติการประมาณ ๔ สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาของเนเธอร์แลนด์พบว่า แนวความคิดการออกแบบเรือดำน้ำที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ Lithium-ion เพียงอย่างเดียวมีความเป็นไปได้สำหรับเรือดำน้ำขนาดเล็ก ระหว่างขั้วน้ำน้อยกว่า ๑,๐๐๐ ตัน ที่มีระยะปฏิบัติการประมาณ ๒,๐๐๐ ไมล์ทะเล และมีระยะเวลาปฏิบัติการประมาณ ๒ สัปดาห์



ภาพที่ ๙ แนวความคิดการใช้แหล่งพลังงานแบตเตอรี่ล้วน มีความเป็นไปได้สำหรับเรือดำน้ำขนาดเล็ก ระหว่างขั้วน้ำน้อยกว่า ๑,๐๐๐ ตัน
ที่มา : Nevesbu, Undersea Defense Technology 2018

บทสรุป

จากข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนแล้วเป็นอันตรายต่อการปฏิบัติการ ทำให้เทคโนโลยีเรือดำน้ำทางทหารยังเป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่เมื่อเทียบกับยานรบประเภทอื่น และเริ่มมีการใช้งานอย่างได้ผลและแพร่หลายในช่วงประมาณ ๑๕๐ ปีที่ผ่านมา และยังมีโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีต่อไปได้อีกในอนาคต ทั้งในด้านระบบขับเคลื่อน การสื่อสารใต้น้ำ การใช้เทคโนโลยี AI มาช่วยในการติดตาม แยกแยะ และพิสูจน์ทราบเป้า และการพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับกับเรือดำน้ำขนาดเล็ก ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีเรือดำน้ำในด้านต่าง ๆ มักเป็นการให้ความสำคัญกับจุดแข็งของเรือดำน้ำในการซ่อนพรางซึ่งจะมีผลกระทบต่อสงครามทางเรือในอนาคต คือ มิติใต้น้ำจะยังคงเป็นมิติที่เหมาะสมที่สุดในการซ่อนพราง และเรือดำน้ำจะยังคงเป็นอาวุธซ่อนพรางที่ค้นหาและตรวจจับได้ยาก ส่งผลให้กำลังรบใต้น้ำจะยังคงมีบทบาทสำคัญในสงครามอนาคต และเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มศักยภาพสงครามให้กับฝ่ายเดียวกัน รวมถึงเป็นปัจจัยที่จะเพิ่มความยุ่งยากในการตัดสินใจและการระวังป้องกันของฝ่ายตรงข้ามเป็นอย่างมาก

น.ท.สุระ บรรจงจิตร รับราชการในกองทัพเรือมากกว่า 20 ปี ได้เคยผ่านประสบการณ์การปฏิบัติงานสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเรือดำน้ำ ได้แก่ หลักสูตรวิทยาการและเทคโนโลยีเรือดำน้ำเยอรมนี กำลังพลรับเครื่องฝึกศูนย์ยุทธการเรือดำน้ำ ผู้สังเกตการณ์การฝึกในเรือดำน้ำ ชั้น Los Angeles ของกองทัพเรือ

สหรัฐอเมริกา ผู้สังเกตการณ์การฝึกในเรือดำน้ำ ชั้น 212A ของกองทัพเรือเยอรมนี
หัวหน้าชุดฝึกศูนย์ยุทธการเรือดำน้ำ และครูฝึกเรือดำน้ำของกองเรือดำน้ำ
กองเรือยุทธการ น.ท.สุระ ฯ ได้ลาออกจากราชการเมื่อปี ๒๕๖๒ ปัจจุบันเป็น
ที่ปรึกษาอิสระและผู้เชี่ยวชาญด้านเรือดำน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- ^a Silent Fleet, 5th edition. (Hamburg: Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH, 2011), pp. 39-40
- ^b Angela Psoma, Gunter Sattler “Fuel cell systems for submarines: from the first idea to serial production.” Journal of Power Sources Vol. 106 Issues 1-2 (London: Elsevier, 2002), pp.381-383
- ^c Masao Kobayashi, “Lithium Ion Batteries in Submarines – Giving Greater Discretion and Endurance for Conventionally Powered Submarines.” UDT Asia 2017
- ^d Vincenzo Pennino, “Lithium-ion Battery for U212NFS” Undersea Defense Technology 2019
- ^e Sabrina Schreiber, Ivor Nissen, “Digital distance and channel measurements with the UT3000.” Undersea Defense Technology 2015
- ^f John Potter, Joao Alves, Dale Green, Giovanni Zappa, Ivor Nissen, Kim McCoy, “The JANUS Underwater Communications Standard.” IEEE Underwater Communications Networking Conference, September 2014
- ^g Roberto Petrocchia, “JANUS: A New Digital Underwater Communications Capability for SMER.” NATO Submarine Escape and Rescue Working Group 2019
- ^h Eva Artusi, Fabien Chaillan, “Automatic Recognition of Underwater Acoustic Signature for Naval Applications.” 1st Maritime Situational Awareness Workshop 2019

- “ Jeroen de Jonge, Jan Bruggeman, Koen Blom, Nicole van Elst, Hilvert Fitski, Leon Kester, Wouter Noordkamp, “The Unmanned Under water Vehicle: An Alternative for the SSK or a Valuable Addition?” UDT Asia 2019
- “ Sven Los, Wahyu Schiks, “Total Battery Powered Submarine Design, A New Way of Thinking.” Undersea Defense Technology 2018

