การพัฒนาเทคโนโลยี Phased Array Radar

เรือ F124 ของกองทัพเรือเยอรมัน ภาพ: Thyssenkrupp Marine Systems

เทคโนโลยีของจรวดต่อต้านเรือผิวน้ำได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องตลอดระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการโจมตีที่รุนแรงกว่าเดิม มีการค้นหาเป้าหมายได้จากระยะไกลอย่างชาญฉลาด ยากต่อการถูกตรวจจับด้วยเทคโนโลยีเรดาร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในยุคก่อน ส่งผลให้ระบบเรดาร์ต้องใช้เวลาในการค้นหาเป้าหมายนานขึ้น เหลือเวลาในการเตือนภัยและตอบโต้น้อย และนั้นอาจหมายถึงการตอบโต้อาจจะสายเกินไป ตัวอย่างของอาวุธต่อสู้เรือที่มีคุณลักษณะดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้แก่ จรวด Naval Surface Missile หรือ NSM ซึ่งเป็นผลผลิตจากการวิจัยและพัฒนาร่วมระหว่างบริษัท Kongsberg และ กองทัพเรือนอร์เวย์ โดยได้พัฒนาระบบค้นหาเป้าหมายด้วยอิฟาเรด (IR Seeker) ให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับภารกิจและภัยคุกคามที่อาจจะต้องเผชิญในอนาคต โดยได้กำหนดเป้าหมายไว้คือ เทคโนโลยีอินฟาเรด (IR) ที่ล้ำหน้า ค้นหาเป้าหมายได้จากระยะไกล และสามารถจำแนกประเภทของเรือที่เป็นเป้าหมายออกจากเรือที่อยู่ในบริเวณน่านน้ำเดียวกัน

เพื่อป้องกันภัยรูปแบบใหม่ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบเรดาร์ให้มีขีดความสามารถในการค้นหา สำรวจเป้าหมายที่สูงกว่าระบบเดิมที่มีประจำการอยู่ในปัจจุบัน และที่สำคัญคือตรวจพบภัยคุกคามได้อย่างทันท่วงที ในวงรอบการค้นหาที่สั้น เพื่อให้มีเวลาต่อการเตรียมการรับมือและตอบโต้ได้ทัน

หนึ่งในเทคโนโลยีที่จะตอบโต้และรับมือกับภัยคุกคามทางอากาศรูปแบบใหม่นี้คือเทคโนโลยีเรดาร์แบบ Phased Array ซึ่งมีศักยภาพในการบริหารจัดการข้อมูลจำนวนมากได้ในเวลาเดียวกัน โดยใช้เวลาสั้นกว่าเมื่อเทียบกับระบบเรดาร์ของยุคที่ผ่านมา เรดาร์แบบ Active Phased Array ที่ได้รับการพัฒนาในกองทัพเรือในยุโรปได้แก่ระบบเรดาร์แบบ Active Phased Array และ SAMPSON เมื่อเรดาร์ค้นพบเป้าหมายจากระยะไกล ข้อมูลเป้าหมายจะถูกส่งต่อไปยังระบบควบคุมการยิงได้ทันท่วงที ก่อนที่ภัยคุกคามจะเข้าสู่ระยะที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อเรือรบในกลุ่มเรือได้

เรดาร์แบบ Active Phased Array ได้ถูกติดตั้งให้กับเรือที่มีภารกิจในการป้องกันการโจมตีทางอากาศของกองเรือ เช่น เรือชั้น F124 (Sachsen) และชั้น De Zeven Provincien ของกองทัพเรือเยอรมันและเนเธอแลนด์ตามลำดับ ระบบเรดาร์แบบ Active Phased Array สามารถทำหน้าที่ในการค้นหาแบบ Horizon และ Above Horizon ติดตามเป้าหมายให้กับระบบควบคุมการยิง (Fire Control) และ ระบบชี้เป้า (illumination) ให้กับจรวดต่อสู้อากาศยานในบริเวณน่านน้ำบริเวณชายฝั่ง

ความสามารถที่โดดเด่นที่ทำให้ระบบเรดาร์แบบ Phased Array ทั้งแบบภาคส่ง (Active) และภาครับ (Passive) มีเหนือระบบเรดาร์ทั่วไป คือ ความสามารถในการค้นหาและตรวจจับเป้าหมาย โดยสัญญาณเรดาร์จะถูกส่งจากแผงรับ-ส่งสัญญาณเรดาร์ โดยที่รูปร่างและทิศทางของแนวคลื่นจะถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต่างจากระบบเรดาร์รุ่นที่ผ่านมาตรงที่ระบบรับและส่งของเรดาร์ในยุคก่อนนั้น สัญญาณเรดาร์จะถูกส่งออกมาจากเสาสัญญาณที่ปรับรูปร่างและทิศทางของแนวคลื่นโดยใช้การหมุนของเสารับ-ส่งสัญญาณซึ่งทำงานโดยระบบกลไก ทำให้การตรวจจับและประมวลผลข้อมูลใช้เวลามาก สำหรับเรดาร์แบบ Phased Array นั้นสัญญาณเรดาร์ถูกส่งออกมาจากแผงรับ-ส่งที่ไม่มีส่วนประกอบที่เป็นกลไก ดังนั้นทิศทางของแนวคลื่นเรดาร์จะควบคุมด้วยวิธีแบบอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยความเร็วในการตรวจจับเป้าหมายที่รวดเร็ว ไม่ต้องรอการหมุนของเสาอากาศให้ครบรอบ แผงเรดาร์แบบ Phased Array สามารถรองรับภารกิจด้านการตรวจจับเป้าหมายได้หลายแบบในเวลาเดียวกัน

วิวัฒนาการของระบบเรดาร์ Phased Array

สหรัฐอเมริกามีโครงการที่จะพัฒนา AN/SPY-3 MFR และ Volume Search Radar (VSR) ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบหลักให้กับระบบเรดาร์แบบสองช่วงความถี่ (Dual Band Radar) เพื่อติดตั้งให้กับเรือชั้น Zumwalt หรือ DDG-1000 โดยระบบ DBR ถือได้ว่าเป็นครั้งแรกที่ได้รับติดตั้งให้กองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ที่ใช้ย่านความถี่แบบ S และ X ได้ในเวลาเดียวกัน โดย X band จะมีความแม่นยำสูง รูปร่างของคลื่นแบบ Narrow Beam ในย่านความถี่สูง (Wide Frequency Bandwidth) ครอบคลุมห้วงอากาศที่กว้างขวางเหนือมหาสมุทร จำแนกแยกประเภทของวัตถุบินระดับต่ำได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ติดตามเป้าหมาย (Target Illumination) และ ใช้เป็นภาคส่ง (Uplink) ให้กับจรวดต่อสู้อากาศยานแบบ SM-2 และ ESSM สำหรับ VSR ในย่านความถี่ S ซึ่งเหมาะสมกับทำหน้าที่ในค้นหาเป้าได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกสภาวะอากาศ ด้วยการค้นหาและติดตามได้อย่างแม่นยำ

สำหรับเรดาร์แบบ Phased Array นั้นสัญญาณเรดาร์ถูกส่งออกมาจากแผงรับ-ส่งที่ไม่มีส่วนประกอบที่เป็นกลไก ดังนั้นทิศทางของแนวคลื่นเรดาร์จะควบคุมด้วยวิธีแบบอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยความเร็วในการตรวจจับเป้าหมายที่รวดเร็ว ไม่ต้องรอการหมุนของเสาอากาศให้ครบรอบ แผงเรดาร์แบบ Phased Array สามารถรองรับภารกิจด้านการตรวจจับเป้าหมายได้หลายแบบในเวลาเดียวกัน

เรือชั้น De Zeven Provincien ของกองทัพเรือเนเธอแลนด์ ภาพ: กองทัพเรือเนเธอแลนด์

ระบบเรดาร์ DBR มีขีดความสามารถสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบเรดาร์แบบ AN/SPY-1 ซึ่งเป็นเรดาร์แบบ Passive Phased Array ในด้านของความคงทนและแม่นยำในการปฏิบัติงานเพราะไม่มีระบบกลไกเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมและขนาดของ

ภาพกราฟฟิกของเรือชั้น Zumwalt DDG -1000 ภาพ: กองทัพเรือสหรัฐอเมริกา

ระบบโดยรวมที่ลดลง ใช้กระแสไฟน้อยกว่าเดิม การทำงานอีกส่วนที่น่าสนใจและเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำสงครามทางทะเลคือ การทำงานของ DBR ในแบบที่ไร้คลื่นสัญญาณ และการออกแบบเสาเรดาร์ที่มีภาคตัดขางเรดาร์ (Radar Cross Section) ต่ำ ช่วยให้หลีกเลี่ยงการถูกตรวจจับจากข้าศึก

AN/SPY-3 MFR รองรับการตรวจจับที่หลากหลายด้วยย่านความถี่ทั้งสองย่าน เช่น Horizon Search ที่ใช้ค้นหาจรวดนำวิถีที่โคจรเรี่ยน้ำ (Sea Skimmer) และตามติดจรวดนั้นตามวิถีการเคลื่อนที่เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบควบคุมการยิงได้ เรดาร์แบบ MFR เป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีรวมเทคโนโลยีเรดาร์ที่แต่เดิมต้องใช้ฮาร์ดแวร์ที่แตกต่างและแยกออกจากกัน ถึง 5 ประเภท มารวมกันเป็นหนึ่งภายใต้สถาปัตยกรรมและเน็ตเวิร์คเดียวกัน ประกอบเข้าด้วยกันด้วยโครงสร้าง Tower ทรงหกเหลี่ยม ที่ใช้ย่านความถี่ร่วมกัน เช่น ใช้นำร่องให้กับจรวดต่อสู้อากาศยานหลายลูกในเวลาเดียวกัน

กองทัพเรือเดนมาร์ก ได้เลือกที่จะใช้ระบบเรดาร์แบบ Active Phased Array เพื่อติดตั้งให้กับเรือฟริเกตชั้น Iver Huitfedldt จำนวนสามลำ ซึ่งคาดว่าจะสร้างเสร็จและเข้าประจำการในปี 2012 และ 2013 ระบบ เรดาร์แบบ Active Phased Array จะประกอบไปด้วยเรดาร์ SMART-L ซึ่งมีหน้าที่ในการค้นหาเป้าหมายระยะไกลในย่านความถี่ I ซึ่งจะช่วยให้การติดตามเป้าหมายได้อย่างแม่นยำสำหรับตรวจจับในระยะเส้นขอบฟ้า (Horizon Search) และจรวดต่อสู้อากาศยานที่อาศัยการนำวิถีแบบ Interrupted Continuous Wave Illumination (ICWI) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับและติดตั้งให้กับกองเรือของประเทศญี่ปุ่น JMSDF

ภาพกราฟฟิกของเรือชั้น Iver Huitfedldt ของกองทัพเรือเดนมาร์ค
ภาพ: Thales

ภายหลังจากที่ประสบความสำเร็จจากการทดสอบทางบกและทางทะเลบนเรือ De Zeven Provincien กองทัพเรือเนเธอแลนด์ และเรือฟริเกตชั้น F124 ของกองทัพเรือเยอรมันนี่ ระบบได้แสดงศักยภาพด้วยการติดตามเป้าหมาย 16 เป้าหมาย พร้อมกับชี้เป้าให้กับจรวดต่อสู้อากาศยาน 32 นัดในเวลาเดียวกัน

ระบบ เรดาร์แบบ Active Phased Array ประกอบไปด้วยแผงเซนเซอร์สี่ด้านติดตั้งบนเสาสัญญาณทรงสี่เหลี่ยมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว แต่ละแผงจะประกอบไปด้วยชุดรับส่งสัญญาณ 3,425 ชุด ทำงานในย่านความถี่ X-Band ด้วยความถี่ (10 GHz) มีรัศมีทำการ 150 กิโลเมตรและ 75 กิโลเมตรสำหรับการตรวจจับในระยะเส้นขอบฟ้า

สำหรับประเทศฝรั่งเศสและอิตาลีได้ติดตั้งระบบ European Multifunction Phased Array Radar (EMPAR) ให้กับเรือฟริเกตป้องกันภัยทางอากาศในโครงการ FREMM โดยเรดาร์นั้นจะประกอบไปด้วยแผงเรดาร์ที่ประกอบไปด้วยชุดรับส่งสัญญาณ 2,160 ชุด ค้นหาเป้าด้วยระบบค้นหาทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งคาดว่าสามารถตรวจจับวัตถุในอากาศที่มีภาคตัดขวางเรดาร์เพียง 0.1 ตารางเมตร จากระยะ 50 กิโลเมตรและเครื่องบินที่มีภาคตัดขวางเรดาร์ขนาด 10 ตารางเมตรจากระยะ 180 กิโลเมตร

ในขณะที่กองทัพเรือสหราชอาณาจักรเองก็มีแนวทางในการเสริมสร้างขีดความสามารถด้านการค้นหาติดตามเป้าหมายให้กับเรือพิฆาตชั้น Type-45 Darling ที่ติดตั้งเรดาร์ SAMPSON MFR ที่มีระบบเรดาร์ครบชุดในระบบเดียว คือ VSR, D-Band S1850M

SAMPSON MFR ประกอบไปด้วย Active Electronically Steered Array (AESA) สองชุดสำหรับตรวจจับห้วงอากาศด้านหน้าและด้านหลัง แต่ละชุดมีชุดรับส่งสัญญาณ 640 ชุด สำหรับตรวจจับห้วงอากาศด้านหน้าและด้านหลัง บนฐานหมุนที่ทำงาน 30 รอบต่อนาที ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ 360 องสาเกือบจะทุก 1 วินาที

หากจะเปรียบเทียบระหว่าง SAMPSON และ เรดาร์แบบ Active Phased Array อาจจะไม่เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพที่แท้จริงอย่างชัดเจน ระบบ SAMPSON ไม่ได้รับการออกแบบเพื่อรองรับกับภารกิจการต่อสู้ขีปนาวุธข้ามทวีปโดยตรง แต่มีระยะตรวจจับอยู่ที่ 400 กิโลเมตร

เรือ D650 Aquitaine ซึ่งต่อภายใต้โครงการ FREMM
ของกองทัพเรือฝรั่งเศส ภาพ: DCNS

ซึ่งไกลกว่าระยะตรวจจับที่ 150 กิโลเมตรของระบบ เรดาร์แบบ Active Phased Array เนื่องมาจากระบบ SAMPSON เลือกที่จะใช้ย่านความถี่ S-band (E/F-band) ในขณะที่ เรดาร์แบบ Active Phased Array เลือกที่จะใช้ย่านความถี่ I/J-band

แต่ระยะที่ไกลกว่านั้นจะไม่เกิดประโยชน์อะไรหากไม่มีจรวดนำวิถีชนิดใดที่สามารถทำการได้ไกลเท่าระยะของเรดาร์ ดังนั้นในส่วนนี้ระบบ เรดาร์แบบ Active Phased Array อาจจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

ทาฝากของกองทัพเรือออสเตรเลียนั้นได้ทำการทดสอบระบบเรดาร์แบบ Active Phased Array บนเรือชั้น ANZAC สำหรับภารกิจป้องกันภัยทางอากาศ รวมไปถึงการติดตั้งเรดาร์แบบ Active Phased Array ให้กับเรือพิฆาต Hobart ที่เพื่อหน้าที่เป็นเรือพิฆาตป้องกันภัยทางอากาศเสริมกับระบบเรดาร์แบบ AN/SPY-1 เดิมที่มีอยู่ โดยได้มีการทำข้อตกลงในปี 2005 ระหว่างกระทรวงกลาโหมของออสเตรเลียและสหรัฐอเมริกาในการร่วมวิจัยและพัฒนาเรดาร์แบบ Active Phased Array และได้มีการจัดสรรงบประมาณจำนวน 30 ล้านเหรียญสหรัฐในการดำเนินโครงการในการวิจัยและพัฒนาระบบเรดาร์แบบ CEAFAR และ CEAMOUNT (Continuous Wave Illumination: CWI) โดยได้รับแนวความคิดมาจากระบบ CWI ของบริษัท Thales Netherland ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวจะอาศัยเรดาร์เพียงชุดเดียวในการนำวิถีให้กับจรวดหลายลูกในการป้องกันภัยทางอากาศ เพราะแต่เดิมระบบเรดาร์หนึ่งชุดสามารถนำวิถีให้กับจรวดได้เพียงหนึ่งลูกเท่านั้น ไม่เพียงพอต่อการรับมือภัยคุกคามทางอากาศที่มีจำนวนมากได้ ลักษณะทางกายภาพของเรดาร์ CEAFAR จะติดตั้งอยู่บนหอเสาอากาศทรงหกเหลี่ยม โดยแต่ละด้านจะมีชุดรับส่งสัญญาณ 1,024 ชุด ติดตั้งอยู่บนแผงควบคุมขนาด 30*30 เซนติดเมตร รวมกันแล้วจะได้ชุดเรดาร์ 64 ชุด ในย่าน S-band รวมแล้วได้ชุดรับส่ง 6,144 ชุด

เรดาร์ CEAFAR บนเรือในโครงการ ANZAC ของกองทัพเรือออสเตรเลียและนิวซีแลนด์
ภาพ: กองทัพเรือออสเตรเลีย

นับได้ว่า CEAFAR เป็นผู้นำด้านระบบเรดาร์แบบ Phased Array เทคโนโลยีโดยที่สามารถควบคุมทิศทางการตรวจจับแบบอิเล็กทรอนิกส์จากแผงควบคุมแต่ละแผง ช่วยให้ทำหน้าที่ได้อย่างหลากหลายในเวลาเดียวกัน ภายใต้ชุดเรดาร์เพียงชุดเดียว

นอกจากนั้นกองทัพเรือออสเตรเลีย ยังได้ทำการวิจัยและพัฒนาเรดาร์แบบ Active Phased Array ที่ใช้เรดาร์แบบ AUSPAR (Australia/US Phased Array Radar) และ ย่าน L-band สำหรับตรวจการณ์ระยะไกล ซึ่งเป็นอีกหนึ่งรุ่นของเรดาร์แบบ CEAFAR แต่มีกำลังสูงกว่า โดยคาดว่าจะใช้ในการตรวจจับในระยะกลางจนถึงระยะไกลในภารกิจการป้องกันภัยทางอากาศ และยังมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ในภารกิจป้องกันภัยจากขีปนาวุธข้ามทวีปได้ โดยโครงการเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2008

การพัฒนาระบบเรดาร์ที่น่าสนใจอื่นๆ ได้แก่ ประเทศอิสราเอล ได้พัฒนาเรดาร์ MFR แบบ Solid-State Active Phased Array เพื่อใช้สำหรับเรือในโครงการ LCS ระบบเรดาร์จะติดตั้งอยู่บนหอเสาอากาศมีสี่ด้าน เพื่อให้ครอบคลุมห้วงอากาศได้ 360 องศา ทำงานในย่าน S-band และถือได้ว่ามีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ เรดาร์ทำงานโดยอาศัยระบบ Multi-Beam Pulse Doppler ในการตรวจจับวัตถุบินที่มี RCS ต่ำ และมีการรบกวนสัญญาณเรดาร์ มีระยะตรวจจับที่ 250 กิโลเมตร ในการตรวจจับเครื่องบินที่มีพิสัยบินสูงและระยะ 25 กิโลเมตรสำหรับวัตถุบินที่เพดานบินต่ำ

นอกจากนั้นแล้วยังมีระบบเรดาร์แบบ ALPHA 2-D Active Array ย่าน S-band สำหรับเรือรบขนาดเล็ก มีพิสัยตรวจจับที่ 120 กิโลเมตร สามารถทำงานในรูปแบบของ Active และ Semi-active ได้

ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาเรดาร์ Active Phased Array เช่นกันเพื่อติดตั้งบนเรือชั้น Akizuki โดยหอสัญญาณจะมีสี่ด้าน ชุดรับส่งสัญญาณทำมาจากวัสดุ GaAs และเสาสัญญาณย่าน X-band ที่ทำหน้าที่ ICWI โดยได้อาศัยเทคโนโลยีเรดาร์แบบ เรดาร์แบบ Active Phased Array ของ Thales Netherlands ในการนำวิถีให้กับจรวดต่อสู้อากาศยานแบบ SM-2 ในขณะเดียวกัน จีน อิสราเอลและรัสเซียกำลังอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาระบบ เรดาร์แบบ Active Phased Array ขึ้นด้วยเช่นกัน

ทางฟากของมหาอำนาจทางทะเลอย่างสหรัฐอเมริกามีแผนที่จะติดตั้งเรดาร์แบบ Active Phased Array ในรูปแบบของ Multi Function Radar (MFR) ซึ่งประกอบไปด้วย Dual Band Radar (DBR) ซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาร่วมกันระหว่างบริษัท Raytheon และ Lockheed Martin โดยมีแนวโน้มที่จะติดตั้งให้กับเรือพิฆาตชั้น DDG-1000 Zumwalt Class

ระบบ MFR จะเป็นการผสมผสานเทคโนโลยีเรดาร์ MFR ในเรดาร์แบบ AN/SPY-3 กับ Volume Search Radar (VSR) การนำระบบสองระบบมารวมกันนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจหาแล้วยังช่วยลดจำนวนเสาสัญญาณและอุปกรณ์เชื่อมโยงให้เหลือน้อยลง เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการตอบสนองต่อสถานการณ์ ง่ายและสะดวกต่อการซ่อมบำรุง รวมถึงใช้กระแสไฟและย่านความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เรือพิฆาตป้องกันภัยทางอากาศชั้น Atago ซึ่งติดตั้งเรดาร์ Phased Array ของกองกำลังป้องกันตนเองทางทะเลของญี่ปุ่น ภาพ: Wikipedia.org

แนวโน้มของเทคโนโลยีเรดาร์

ด้วยเทคโนโลยีด้าน Solid-State Semiconductor จะช่วยให้ระบบเรดาร์มีขนาดเล็กลงและมีน้ำหนักโดยรวมลดลง จำนวนฮาร์ดแวร์น้อยลง มีระบบ Digital Beamforming ซึ่งจะมาแทนที่ระบบ Vacuum Tube ซึ่งมีขนาดใหญ่และต้องใช้เวลาในการเตรียมตัวนานก่อนที่ระบบจะพร้อมปฏิบัติการ

สำหรับในอนาคต เราจะเห็นระบบเรดาร์ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักน้อยลง ขนานไปกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของ Solid-State Semiconductor ซึ่งองค์ประกอบของระบบเรดาร์จะถูกย่อส่วนและประกอบเข้ารวมกันไว้ภายในแผงวงจรเดียว แผงรับ-ส่งสัญญาณจะมีกำลังในการรับและส่งสัญญาณที่สูงขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เทคโนโลยีเรือดำน้ำ

เรือดำน้ำเป็นอาวุธที่ได้รับการขนานนามว่า "The Silent Service" ซึ่งมาจากคุณสมบัติของเรือดำน้ำที่ตรวจพบได้ยาก ปฏิบัติการภายใต้ความเงียบ แต่ให้ผลการทำลายล้างสูง เรือดำน้ำเปรียบเสมือนอาวุธเชิงยุทธศาสตร์ของกองทัพเรือหลายประเทศทั่วโลก

เรือดำน้ำเข้ามาประจำการในกองทัพเรืออาเซียนเป็นครั้งแรกในกองทัพเรือไทย โดยกองทัพเรือไทยได้สั่งต่อเรือดำน้ำรักษาฝั่งจากประเทศญี่ปุ่นตั้งแต่ช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่สองจำนวน 4 ลำ แต่ได้ปลดประจำการไปภายหลังสงครามโลกครั้งที่สองราว 10 ปีเนื่องจากขาดแคลนอะไหล่ อาเซียนว่างเว้นจากการมีเรือดำน้ำเข้าประจำการจนมาถึงในช่วงที่กองทัพเรือในประเทศอาเซียนที่เริ่มเข้าสู่ยุคของการใช้เรือดำน้ำเพื่อสร้างดุลยภาพทางทหารตั้งแต่หลายสิบปีก่อน โดยมีอินโดนีเซียเป็นประเทศแรกที่จัดหาเรือดำน้ำเข้าประจำการ และตามมาด้วยสิงคโปร์ มาเลเซีย และล่าสุดคือเวียดนาม

เรือดำน้ำเป็นอาวุธที่ได้รับการขนานนามว่า "The Silent Service" ซึ่งมาจากคุณสมบัติของเรือดำน้ำที่ตรวจพบได้ยาก ปฏิบัติการภายใต้ความเงียบ แต่ให้ผลการทำลายล้างสูง เรือดำน้ำเปรียบเสมือนอาวุธเชิงยุทธศาสตร์ของกองทัพเรือหลายประเทศทั่วโลก

แม้ว่าพัฒนาการของการใช้งานเรือดำน้ำในอาเซียนจะยังคงเป็นเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าอยู่ เนื่องจากเรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ยังคงเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงซึ่งมีราคาแพง มีความยุ่งยากในการบำรุงรักษา และเกินความจำเป็นของกองทัพเรือในแถบประเทศอาเซียน แต่กระนั้นความเปลี่ยนแปลงซึ่งเริ่มเห็นได้ชัดคือการเริ่มนำอาวุธชนิดใหม่ ๆ เข้ามาประจำการในกองเรือดำน้ำเช่น จรวดต่อต้านเรือรบซึ่งมีความสามารถในการโจมตีเป้าหมายบนฝั่ง ที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะของการปฏิบัติการและเป็นการเผยให้เห็นภัยคุกคามรูปแบบใหม่ที่อาจจะเกิดขึ้น

ทั้งนี้ อ่าวไทยมีลักษณะอ่าวที่ค่อนข้างปิด มีทางออกเพียงทางเดียว และพื้นที่ปากอ่าวไทยก็เป็นพื้นที่ที่เรือดำน้ำสามารถปฏิบัติการได้อย่างสะดวก ทำให้ไทยยังคงมีความเสี่ยงที่อาจถูกปิดอ่าวได้ถ้าเกิดสถานการณ์สงครามกับรัฐที่มีเรือดำน้ำ อีกทั้งประเทศไทยยังมีข้อพิพาททางด้านเขตแดนทางทะเลกับเพื่อนบ้านหลายประเทศ จึงทำให้ประเทศไทยยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องมีเรือดำน้ำเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างดุลยภาพทางทหารของไทยกับประเทศในแถบอาเซียน

เรือดำน้ำกับการปฏิบัติการภายใต้ Network Centric Operation

ตามปกติแล้วเรือดำน้ำจะปฏิบัติการโดยลำพัง จำกัดการสื่อสารให้น้อยที่สุด โดยเรือดำน้ำจะรับภารกิจตั้งแต่ก่อนออกจากท่า และปฏิบัติภารกิจตามแผนยุทธการที่กำหนดให้ การสื่อสารระหว่างการปฏิบัติการจะกระทำให้น้อยที่สุด หรือถ้าจำเป็นส่วนใหญ่ก็จะใช้การรับข่าวมากกว่าการส่งข่าว เช่น การนัดเวลา ตำบลที่ และคลื่นความถี่ที่จะรับข่าว หรือการที่กองบัญชาการบนฝั่งส่งข่าวออกไปอย่างต่อเนื่องโดยให้เรือดำน้ำดักรับเมื่อเรือต้องขึ้นสู่ผิวน้ำมารับออกซิเจน

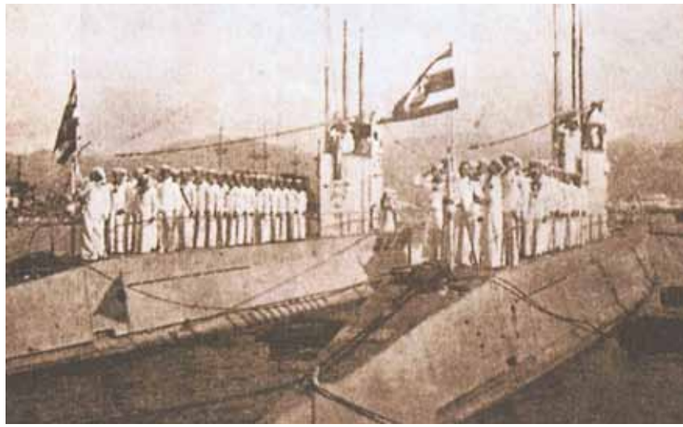
แต่ในปัจจุบัน การพัฒนาหลักนิยมทางทหารได้เปลี่ยนเข้าสู่การรบแบบศูนย์กลางเครือข่ายหรือ Network Centric Operation หรือ NCO ซึ่งทำให้เรือดำน้ำต้องปรับตัวเองเช่นกัน ทั้งนี้ ในการรบแบบ NCO นั้น เรือดำน้ำสามารถทำหน้าที่เป็นหน่วยรับ (Sensor) ให้กับเครือข่ายได้ด้วยการใช้ความสามารถในการหาข่าวและการดักรับสัญญาณเพื่อส่งข้อมูลให้กับเครือข่าย หรือทำหน้าที่เป็นหน่วยยิง (Shooter) เพื่อเข้าทำลายข้าศึกก็ได้

เรือดำน้ำจึงอาจจำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบ Datalink เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเครือข่ายหลัก แต่ทั้งนี้ หลักนิยมในการใช้ Datalink ของเรือดำน้ำน่าจะต้องมีความแตกต่างจากหลักนิยมในการใช้ Datalink ของระบบอาวุธแบบอื่นเนื่องจากธรรมชาติในการปฏิบัติการที่ต่างกัน

ระบบตรวจจับด้วยเสียง (Sonar)

เรือดำน้ำนั้นจะมีทั้งโซนาร์ภาครับ (Passive Sonar) และโซนาร์ภาคส่ง (Active Sonar) ทั้งนี้ ด้วยลักษณะของการปฏิบัติการของเรือดำน้ำที่ต้องการความเงียบและการซ่อนพราง ทำให้โซนาร์ภาครับมีความสำคัญมากสำหรับเรือดำน้ำ เนื่องจากการที่เรือดำน้ำส่งสัญญาเสียงออกจากโซนาร์ภาคส่งหรือที่เราเรียกว่าการ Ping นั้น ย่อมจะเป็นการเปิดเผยตำบลที่ของเรือดำน้ำซึ่งถือว่ามีความเสี่ยงสูงที่เรือดำน้ำจะถูกระบุตำแหน่งด้วยการที่ข้าศึกวิเคราะห์เสียงของโซนาร์และเสียงที่จะถูกโจมตีได้ การ Ping จึงจะกระทำก็ต่อเมื่อความจำเป็นที่จะต้องระบุตำแหน่งเป้าหมายมีความสำคัญมากกว่าการซ่อนพราง

การเดินทางของเสียงในน้ำนั้นมีปัจจัยหลากหลายที่ทำให้เส้นทางการเดินทางนั้นเปลี่ยนไป ไม่ว่าจะเป็นความเค็ม อุณหภูมิ สารที่เจือบนในน้ำทะเล ลักษณะภูมิประเทศใต้ทะเล เช่น ในใต้ทะเลนั้นจะมีกระแสน้ำและความปั่นป่วนของน้ำใต้ทะเลที่แบ่งแยกเป็นชั้น ซึ่งอุณหภูมิของน้ำในแต่ละชั้นจะทำให้การเดินทางของเสียงนั้นหักเหไปได้ ในบางกรณีนั้นพื้นที่บางส่วนของทะเลอาจกลายเป็นพื้นที่ที่เสียงจะถูกสะท้อนกลับหมด ทำให้เสียงที่สร้างจากโซนาร์ภาคส่งนั้นไม่สามารถเดินทางไปถึงได้ ซึ่งจะกลายเป็นการสร้างพื้นที่เงา (Shadow Zone) ที่เรือดำน้ำสามารถไปวางตัวเพื่อซ่อนพรางได้เช่นกัน อีกทั้งวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ย่อมสร้างเสียง และเสียงที่เกิดจากวัตถุแต่ละอย่างนั้นจะมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป เช่นเสียงจากใบจักรของเรือที่ต่างชั้นกันก็จะให้เสียงที่ต่างกัน การวิเคราะห์เสียงจึงทำให้เรือดำน้ำทราบว่า เสียงนั้นเป็นเสียงของการเคลื่อนที่ของ



เรือหลวงมัจฉาณุและเรือหลวงวิรุณที่ท่าเรือเมืองโกเบ ก่อนเดินทางกลับสยาม เมื่อ พ.ศ. 2481
ภาพ: หนังสือ ศิริพงษ์ บุญราศรี เรือดำน้ำแห่งราชนาวีสยาม

เรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าชั้น Scorpene ของกองทัพเรือมาเลเซีย ภาพ: กองทัพเรือมาเลเซีย

แผ่นเปลือกโลก เสียงของเรือประมง หรือเสียงของเรือรบแต่ละแบบ

ทำให้การวิเคราะห์เสียงใต้น้ำหรือ Acoustic Intelligent (ACINT) นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จและความอยู่รอดของเรือดำน้ำ ซึ่งการวิเคราะห์เสียงจะทำได้โดยการดักรับเสียงจากโซนาร์ภาครับ ซึ่งตำแหน่งของการวางโซนาร์จะส่งผลต่อความสามารถในการรับคลื่นเสียง โดยปกติแล้วเรือดำน้ำจะมีการติดตั้งโซนาร์ภาครับที่หัวเรือ (Cylindrical Bow Array Sonar) และโซนาร์ภาครับบริเวณข้างลำตัวเรือ (Flank Array Sonar) ซึ่งจะทำให้เรือดำน้ำสามารถรับเคลื่อนเสียงได้ในภาพกว้าง (Panoramic Passive Detection)

สถานีของพนักงานโซนาร์ในเรือดำน้ำนิวเคลียร์ USS City of Corpus Christi
ภาพ: อนาลโย กอสกุล

เช่นระบบ CSU-83 ซึ่งติดตั้งอยู่บนเรือดำน้ำชั้น Type-206 ที่มีทั้งเรดาร์ภาครับบนหัวเรือและข้างลำตัวเรือ รวมถึงมีเรดาร์ภาคส่งบริเวณหัวเรืออีกด้วย นอกจากนั้นในเรือดำน้ำส่วนใหญ่ยังทางเลือกให้ติดตั้งโซนาร์ลากท้าย (Towed Array Sonar) โดยเรือดำน้ำจะทำการปล่อยโซนาร์ลากท้ายออกจากท้ายเรือเพื่อรับหรือส่งสัญญาณเสียงออกไปและทำให้สามารถตรวจจับได้ครบ 360 องศา และยังลดเสียงรบกวนที่เกิดจากใบจักรของเรือเองด้วยการปล่อยสายของโซนาร์ลากท้ายให้ไกลออกไปจากตัวเรืออีกด้วย

แต่ทั้งนี้ เทคโนโลยีด้านโซนาร์เป็นเทคโนโลยีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างและแบบแผนมากนักในรอบหลายสิบปีที่ผ่านมา คงเหลือแต่การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้มากขึ้นเท่านั้น เช่น สามารถตรวจจับได้ไกลขึ้น แม่นยำขึ้น เป็นต้น ทั้งนี้ ประเทศไทยควรให้ความสนใจไปที่การวิเคราะห์เสียงใต้น้ำ เนื่องจากประเทศไทยแทบไม่มีองค์ความรู้ด้านนี้เลย และต้องทำอย่างต่อเนื่อง เพราะเสียงใต้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงทุกวัน อุปกรณ์ใหม่ที่นำมาใช้ก็จะสร้างเสียงใหม่ขึ้นมา อีกทั้งการวิเคราะห์เสียงใต้น้ำนอกจากจะมีประโยชน์มหาศาลกับภารกิจทางด้านการทหารแล้ว ยังมีประโยชน์ในด้านสิ่งแวดล้อม เช่นการติดตามการเดินทางและการหากินของสัตว์ที่ใช้เสียงใต้น้ำในการนำทางเช่น ปลาวาฬ ปลาโลมา หรือปลาฉลามบางชนิด เป็นต้น

การพัฒนาระบบอาวุธของเรือดำน้ำ

ในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง ระบบอาวุธของเรือดำน้ำนั้นมีทั้งปืนเรือและตอร์ปิโด แต่ด้วยพัฒนาการและความเปลี่ยนแปลงทางด้านแนวคิดการปฏิบัติการทำให้มีการตัดปืนเรือออกไป คงเหลือแต่ตอร์ปิโดเท่านั้นที่ยังคงมีความสำคัญอยู่ และในบางภารกิจอาจมีการเพิ่มกับระเบิดใต้น้ำอีกด้วย

หลักการของตอร์ปิโดยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนักนับจากครั้งแรกที่มีการใช้ตอร์ปิโดตั้งแต่สมัยวิกตอเรีย แต่สิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปคือความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากตอร์ปิโดในปัจจุบันมีระบบนำวิถี โดยระบบนำวิถีแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ ระบบนำวิถีแบบใช้สายหรือเส้นลวด ซึ่งเรือที่

ท่อบรรจุตอร์ปิโดในเรือดำน้ำนิวเคลียร์ USS City of Corpus Christi ภาพ: อนาลโย กอสกุล

ยิงจะส่งสัญญาณจากตัวเรือไปตามเส้นลวดเพื่อให้ตอร์ปิโดเดินทางไปยังทิศทางและความลึกที่ต้องการ อีกประเภทหนึ่งคือระบบนำวิถีแบบไม่ใช่สายหรือเส้นลวด ซึ่งตัวตอร์ปิโดอาจจะใช้เซ็นเซอร์ภาครับ (Passive Sensor) ในการรับสัญญาณเช่น เสียงของใบจักรหรือฟองอากาศของเป้าหมาย หรือใช้เซ็นเซอร์ภาคส่ง (Active Sensor) เพื่อส่งสัญญาณเสียงออกไปยังเป้าหมายและรอรับเสียงที่สะท้อนกลับออกมาเพื่อทำให้ทราบตำแหน่งของเป้าหมาย หรืออาจจะเป็นการใช้เซ็นเซอร์แบบกึ่งภาคส่ง (Semi-active Sensor) โดยใช้การรับสัญญาณเสียงที่สะท้อนมาจากเป้าหมาย ซึ่งสัญญาณเสียงนั้นจะถูกส่งออกมาจากตัวเรือที่ยิง เป็นต้น

ตอร์ปิโดในปัจจุบันยังแบ่งออกเป็นตอร์ปิโดเบาและตอร์ปิโดหนัก แต่ส่วนใหญ่แล้วตอร์ปิโดที่ยิงจากเรือดำน้ำจะเป็นตอร์ปิโดหนัก ขนาดที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือขนาด 533 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของตอร์ปิโดของนาโต้ โดยตอร์ปิโดเบามักจะใช้ทิ้งจากอากาศยานหรือเรือผิวน้ำในลักษณะของการเป็นตอร์ปิโดเพื่อป้องกันตัว ในส่วนของหัวรบนั้นมักจะเป็นระเบิดที่ทำจากผงอลูมิเนียมเพื่อสร้างคลื่นใต้น้ำที่มีกำลังแรงมากพอในการทำลายเรือดำน้ำ หรือใช้ดินระเบิดในการเจาะตัวเรือดำน้ำเอง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนวนว่าจะใช้แบบกระทบแตกหรือใช้ชนวนวัดระยะที่ตัวตอร์ปิโดจะจุดระเบิดเมื่อถึงระยะที่ใกล้พอ

การยิงทดสอบตอร์ปิโดแบบ Mk.48 ภาพ: กองทัพเรือสหรัฐอเมริกา

ตัวอย่างตอร์ปิโดที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันเช่น ตอร์ปิโดแบบ DM2A4 Seehecht ของเยอรมัน ผลิตโดยบริษัท Atlas Elektronik ซึ่งใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและใช้สายไฟเบอร์ออฟติกเป็นตัวนำสัญญาณ ซึ่งถือเป็นตอร์ปิโดแบบแรกที่ใช้ไฟเบอร์ออฟติกในการนำสัญญาณดิจิตอลเข้าสู่ตัวตอร์ปิโด ในส่วนหัวและส่วนลำตัวติดตั้งโซน่าร์เพื่อตรวจจับเป้าหมายที่ทำให้ตัวตอร์ปิโดสามารถตรวจจับเป้าหมายได้ที่มุม 100 องศาในแนวนอนและ 24 องศาในแนวตั้ง ซึ่งพื้นที่ตรวจจับที่กว้างนั้นทำให้ตัวตอร์ปิโดสามารถลดการเคลื่อนที่เพื่อค้นหาเป้าหมายลงและจะส่งผลให้เสียงที่ตัวตอร์ปิโดสร้างขึ้นนั้นน้อยลงด้วย

ทางฝั่งรัสเซียนั้นมีตอร์ปิโดทั้งแบบ Type-53 ซึ่งเป็นตอร์ปิโดขนาด 533 มิลลิเมตรสำหรับต่อสู้เรือดำน้ำและตอร์ปิโดแบบ Type-65 ที่มีขนาดใหญ่กว่าคือ 650 มิลลิเมตรเพื่อไว้ใช้สำหรับการทำลายเรือผิวน้ำ ส่วนสหรัฐอเมริกายังใช้ตอร์ปิโดแบบ Mk.48 ซึ่งในปัจจุบันถูกปรับปรุงเป็นรุ่นที่ 7 (Mk.48 Mod 7 Common Broadband Advanced Sonar System: CBASS) ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการทั้งในเขตน้ำลึกและน้ำตื้น รวมถึงเพิ่มระบบต่อต้านมาตรการต่อต้านต่างๆ ของข้าศึก

สำหรับระบบต่อต้านตอร์ปิโดนั้น ในปัจจุบันระบบต่อต้านหรือมาตรการต่อต้านตอร์ปิโด (Torpedo Countermeasure) ที่มักใช้กันอยู่มักจะเป็นการก่อกวนด้วยการสร้างคลื่นเสียงลวง ทั้งคลื่นเสียงเลียนแบบเสียงใบจักรของเรือหรือเสียงฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากเรือ แต่ก็ยังไม่มีระบบใดที่มีประสิทธิภาพสูงมากพอที่จะป้องกันตอร์ปิโดได้ทุกชนิด การต่อต้านตอร์ปิโดจึงมักใช้การทำงานร่วมกันของระบบหลายระบบ ทั้งนี้ ในการค้นหาตอร์ปิโดมักจะใช้เซ็นเซอร์ภาครับในการเฝ้าฟังเสียงของตอร์ปิโดที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งในปัจจุบันมีการทดลองวิจัยและพัฒนาตอร์ปิโดขนาดเล็กที่ใช้ยิงทำลายตอร์ปิโดที่ยิงเข้ามาด้วยเช่นกัน

การทดสอบยิงจรวดต่อต้านเรือผิวน้ำ Exocet SM39 ซึ่งยิงจากเรือดำน้ำชั้น Scorpene ของกองทัพเรือมาเลเซีย ภาพ: กองทัพเรือมาเลเซีย

นอกจากตอร์ปิโดแล้ว ปัจจุบันยังมีการนำระบบอาวุธอื่นมาติดตั้งกับเรือดำน้ำ ซึ่งถ้าไม่นับเรือดำน้ำนิวเคลียร์ขนาดใหญ่ของประเทศมหาอำนาจที่ติดตั้งขีปนาวุธพิสัยไกลข้ามทวีปซึ่งไม่มีใช้งานอยู่ในภูมิภาคของประเทศไทยแล้ว ระบบอาวุธอื่น ๆ ก็เหมือนการย่อส่วนจรวดขนาดใหญ่จากเรือดำน้ำขนาดใหญ่ลงมา เช่นเรือดำน้ำชั้น Scorpene ของมาเลเซียนั้นติดตั้งจรวดนำวิถีต่อต้านเรือผิวน้ำแบบ Exocet SM39 ซึ่งเป็นจรวด Exocet รุ่นยิงจากเรือดำน้ำ โดยตัวจรวดจะถูกเก็บอยู่ในแคปซูล VSM (Vehicule Sous Marin) ซึ่งเมื่อเรือทำการยิงแล้วแคปซูล VSM จะเดินทางในน้ำเพื่อทำให้ข้าศึกไม่สามารถทราบได้ว่าตำแหน่งของเรือดำน้ำที่ยิงอยู่ที่ไหน และเวียดนามซึ่งจัดหาเรือดำน้ำชั้น Kilo จากรัสเซียจำนวน 6 ลำนั้น ได้จัดหาจรวด Klub-S ซึ่งเป็นจรวดในลักษณะเดียวกับจรวด Exocet SM39 ด้วยเช่นกัน

ทั้งนี้ เมื่อจรวดขึ้นสู่ผิวน้ำก็จะสลัดแคปซูลออกและจุดบูสเตอร์ซึ่งทำให้จรวดเคลื่อนที่เหมือนจรวดต่อต้านเรือผิวน้ำที่ยิงจากเรือผิวน้ำทุกประการ ตัวจรวดยังสามารถตั้งค่าให้โจมตีได้ทั้งเรือผิวน้ำในทะเลเปิด ในพื้นที่น้ำตื้น ไปจนถึงเป้าหมายบนชายฝั่ง ทำให้ตัวจรวดทำหน้าที่คล้ายขีปนาวุธต่อต้านเป้าหมายบนบกทางยุทธวิธี (Standoff Land Attack Missile: SLAM) ซึ่งถือเป็นการเปลี่ยนโฉมหน้าของเรือดำน้ำที่จากเดิมใช้ในภารกิจเพียงเฝ้าฟัง หาข่าว ต่อต้านเรือผิวน้ำและเรือดำน้ำ ไปเป็นการเพิ่มความสามารถในการโจมตีเป้าหมายบนฝั่ง ซึ่งจรวดสามารถโจมตีเป้าหมายที่มีคุณค่าทางยุทธการสูงในบริเวณชายฝั่งเช่น คลังน้ำมัน ท่าเรือ ฐานทัพเรือ ไปจนถึงเป้าหมายที่ลึกเข้าไปในฝั่งเช่น กองบัญชาการต่างๆ โรงเก็บอาวุธ หรือสนามบิน

ระบบ AIP

ระบบ AIP (Air-Independent Propulsion) คือระบบที่ทำให้เรือดำน้ำไม่ต้องขึ้นสู่ผิวน้ำเพื่อรับออกซิเจนจากอากาศมาใช้ในเครื่องยนต์ ทำให้เรือดำน้ำที่มีระบบ AIP มีระยะเวลาในการดำนานขึ้น ซึ่งจะลดความเสี่ยงในการถูกตรวจพบจากฝ่ายตรงข้ามได้ ระบบนี้เป็นระบบที่ติดตั้งอยู่ในเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าซึ่งเลียนแบบความสามารถของเรือดำน้ำนิวเคลียร์

จรวดแบบ 3M-54 Klub-S ซึ่งกองทัพเรือเวียดนามจัดหามาติดตั้งกับเรือดำน้ำชั้น Kilo จำนวน 6 ลำ ภาพ: Wikipedia.org

ทั้งนี้ เครื่องยนต์ดีเซลของเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องใช้ออกซิเจนในการทำงาน ซึ่งทำให้เรือต้องขึ้นมาบนผิวน้ำ (Snorkel) ทุก ๆ 3-5 วันเพื่อรับอากาศ ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่ว่าจะอย่างไรเรือดำน้ำก็จำเป็นต้องเปิดเผยตำแหน่งที่ตั้งของตนทุก 3-5 วันเช่นกัน ทั้งนี้ ระบบ AIP จะช่วยผลิตออกซิเจนให้เครื่องยนต์เพื่อทำให้เรือดำน้ำดำอยู่ในทะเลได้นานขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องขึ้นสู่ผิวน้ำจาก 3-5 วันอาจกลายเป็นถึงเกือบ 1 เดือน

ในระยะแรก ระบบ AIP เกิดจากการวิจัยของ Dr. Hellmuth Walter วิศวกรชาวเยอรมันในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง และมีการพัฒนาต่อมาในช่วงสงครามเย็น ทั้งนี้ ระบบ AIP ในช่วงแรกใช้ Hydrogen Peroxide (H2O2) เป็นแหล่งกำเนิดออกซิเจน โดยใช้การแยกไฮโดรเจนออกจากออกซิเจน แต่วิธีนี้ทำให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัย นั่นคือไฮโดรเจนที่เหลือจากกระบวนการแยกออกซิเจนมักทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่าย รวมถึงเป็นก๊าซที่ติดไฟง่าย ซึ่งภายหลังประเทศมหาอำนาจเริ่มเปลี่ยนไปใช้พลังงาน

นิวเคลียร์ในการขับเคลื่อนเรือดำน้ำ ความจำเป็นในการพัฒนาระบบ AIP จึงหมดไป

แต่สำหรับกองทัพเรือที่มีขนาดเล็กกว่าและยังใช้เรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าอยู่นั้น ระบบ AIP ยังคงเป็นระบบที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอยู่ หลายประเทศผู้ผลิตเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าจึงยังมีการพัฒนาระบบ AIP อย่างต่อเนื่อง โดยในปัจจุบันเราสามารถแบ่งระบบ AIP ออกเป็น 4 ชนิดคือ

RSS Chieftain หนึ่งในเรือดำน้ำชั้น Challenger ซึ่งเป็นการปรับปรุงเรือดำน้ำชั้น Sjoormen ลำเก่าของกองทัพเรือสวีเดน ภาพ: militaryphotos.net

- เครื่องยนต์ดีเซลระบบปิดซึ่งใช้ออกซิเจนจากออกซิเจนเหลว (Closed-cycle Diesel Engines with Stored Liquid Oxygen)

ระบบนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลธรรมดาที่ออกซิเจนที่ผลิตออกมาจากออกซิเจนเหลวและผสมกับอาร์กอนซึ่งก๊าซเฉื่อยก่อนจะเข้าไปยังห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และไอเสียที่เครื่องยนต์ผลิตออกมาซึ่งประกอบด้วยไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนจะถูกแยกออกไปในห้องเก็บไอเสีย ส่วนอาร์กอนจะถูกนำกลับไปใช้ผสมกับออกซิเจนใหม่ ไอเสียที่ได้จะถูกนำไปผสมกับน้ำทะเลและทิ้งออกนอกตัวเรือ

ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้งานได้และติดตั้งง่ายที่สุด ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงตัวเรือมากนัก และไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์หรือเปลี่ยนประเภทของเชื้อเพลิง แต่ระบบมีความเสี่ยงคือออกซิเจนเหลวนั้นเป็นสถานะของออกซิเจนที่ไม่คงทนและเปลี่ยนสถานะได้ง่าย ซึ่งทำให้ผู้ใช้เรือต้องออกแบบระบบส่งกำลังบำรุงให้มีออกซิเจนเหลวเพียงพอทั้งในฐานทัพและฐานส่งกำลังบำรุงส่วนหน้า ซึ่งเพิ่มค่าใช้จ่ายให้สูงขึ้น และออกซิเจนเหลวยังระเบิดได้ง่าย ซึ่งทำให้มักเกิดอุบัติเหตุกับเรือดำน้ำที่ใช้ระบบนี้ในอดีต เช่นเรือดำน้ำ M-256 ซึ่งเป็นเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้าชั้น Quebec (Project 615) ซึ่งเกิดระเบิดอย่างรุนแรงขึ้นในอ่าวฟินแลนด์ในทะเลบอลติดในระหว่างสภาพอากาศเลวร้าย (Sea State 8) ส่งผลให้ลูกเรือเสียชีวิต 28 คน และรอดชีวิตเพียง 7 คนทำให้ปัจจุบันไม่มีเรือดำน้ำรุ่นใดใช้ระบบ AIP แบบนี้

ระบบนี้ใช้ไอน้ำที่จากผลิตจากเครื่องยนต์ที่ใช้เอธานอลที่ผสมกับออกซิเจนซึ่งถูกเก็บไว้ที่ห้องเก็บความดันสูง (60 บาร์) เพื่อนำไอน้ำไปใช้ในการขับดันตามหลักการของวัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) ระบบนี้มีข้อดีคือไอเสียที่ออกมานั้นสามารถถูกปล่อยออกจากเรือได้ในทันทีใน

เรือดำน้ำชั้น Agosta 90B ของกองทัพเรือปากีสถาน ภาพ: กองทัพเรือปากีสถาน

ทุกความลึกจากความดันของห้องเก็บออกซิเจน ทำให้ไม่ต้องมีห้องอัดไอเสียก่อนปล่อยออกจากเรือ และให้กำลังขับสูง แต่ข้อเสียของระบบนี้คือเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (Fuel Efficiency) ต่ำที่สุด และมีอัตราการใช้ออกซิเจนในการเผาไหม้สูงที่สุด โดยในปัจจุบันระบบ AIP ที่ใช้ไอน้ำนั้นมีอยู่ระบบเดียวคือระบบ MESMA (Module d'Energie Sous-Marin Autonome) ของฝรั่งเศสซึ่งจะถูกติดตั้งในเรือดำน้ำชั้น Agosta 90B จำนวน 3 ลำของปากีสถาน

- เครื่องยนต์อากาศร้อน (Stirling-cycle Engines)

ในระบบ AIP แบบนี้ เครื่องยนต์สันดาปภายนอกซึ่งใช้ออกซิเจนเหลวและน้ำมันดีเซลจะผลิตความร้อนซึ่งจะถูกถ่ายเทไปยังตัวเครื่องยนต์ ซึ่งกระบอกลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปมาระหว่างกระบอกสูบร้อนและกระบอกสูบเย็น โดยมีก๊าซเฉื่อยคืออาร์กอนเป็นตัวนำพาความร้อนเพื่อไปเปลี่ยนเป็นพลังงานกล พลังงานกลที่ได้จะนำไปใช้ทั้งการขับเคลื่อนเพลาโดยตรงและการชาร์ตแบ็ตเตอรี่ ระบบนี้มีข้อดีคือ จากลักษณะของเครื่องที่ส่วนสันดาปและส่วนขับเคลื่อนจะแยกออกจากกัน ทำให้การจัดการกับไอเสียนั้นง่ายและไม่ซับซ้อนเท่าระบบอื่น โดยระบบ AIP แบบนี้มีใช้ในเรือดำน้ำชั้น Gotland ทั้ง 3 ลำของสวีเดน รวมถึงเรือดำน้ำชั้น Soryu ของญี่ปุ่น และชั้น Archer ของสิงคโปร์ ซึ่งทำให้เรือสามารถดำน้ำอยู่ได้นานสูงสุด 14 วันที่ความเร็ว 4 น๊อต

- แบบที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

เซลล์เชื้อเพลิงนั้นเป็นอุปกรณ์สร้างพลังงานที่ไม่ได้ใช้วัฏจักรการ์โนต์ (Carnot Cycle) ซึ่งใช้ความร้อนและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เหมือนระบบอื่น แต่ใช้ปฏิกิริยาเคมีของการที่ตัวเร่งปฏิกิริยากระตุ้นให้ไฮโดรเจนแตกตัวเป็นโปตอนและอิเล็กตรอน ซึ่งจะให้ไฟฟ้า

เรือดำน้ำชั้น Type-212 ของกองทัพเรือเยอรมัน ภาพ: HDW

ออกมาผ่านเยื่อกั้นกระแสไฟฟ้า และยังให้ความร้อนอีกด้วย ซึ่งในที่สุดโปรตอนกับอิเล็กตรอนจะรวมกับออกซิเจนได้น้ำซึ่งถือว่าสะอาดกว่าไอเสียที่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องยนต์ปกติ นอกจากนั้นยังได้กระแสไฟฟ้าในปริมาณมากและมีการสูญเสียความร้อนจากระบบน้อย ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่มักจะใช้ในระบบ AIP ในเรือดำน้ำคือเซลล์เชื้อเพลิงประเภท PEM (Polymer Electrolyte Membrane)

แต่ข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิงคือการที่ระบบจะต้องใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีความเสี่ยงสูงที่จะก่อให้เกิดการระเบิดได้ หนึ่งในวิธีแก้คือการใช้ไฮโดรเจนจากสารประกอบแทนที่จะเก็บในรูปแบบก๊าซ เช่นสารประกอบ Metal Hydride ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากการจับพันธะระหว่างไฮโดรเจนและโลหะอัลลอย หรือใช้การผลิตไฮโดรเจนจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่น น้ำมันดีเซล คีโรซีน (Kerosene) หรือ เมตธานอล (Methanol) ซึ่งถ้าเลือกใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้นจำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมอีกด้วย

ในปัจจุบันเยอรมันได้ติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงจำนวน 9 เซลล์ลงบนเรือชั้น Type-212

เรือดำน้ำชั้น Kilo ของกองทัพเรืออินเดียซึ่งกองทัพเรือเวียดนามกำลังจัดหาเข้าประจำการเช่นกัน
ภาพ: กองทัพเรืออินเดีย

ของกองทัพเรือเยอรมันและกองทัพเรืออิตาลี ซึ่งสามารถทำให้เรือดำน้ำได้นาน 14 วันที่ความเร็ว 8 น๊อต รวมถึงรัสเซียที่มีทางเลือกสำหรับลูกค้าในการติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงในเรือชั้น Kilo และ Amur ด้วย

แม้ว่าระบบ AIP จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดำน้ำได้นานโดยไม่ต้องขึ้นสู่ผิวน้ำ แต่ข้อจำกัดของระบบคือระบบต่างมีความซับซ้อนและมีสารที่มีอันตรายเช่น ออกซิเจนเหลวหรือไฮโดรเจนที่ถือเป็นความเสี่ยงในการปฏิบัติการของเรือดำน้ำ อีกทั้งจากระบบทั้ง 4 ระบบนั้น มีเพียงระบบเซลล์เชื้อเพลิงอย่างเดียวเท่านั้นที่ไม่ต้องมีการปล่อยก๊าซไอเสียออกจากระบบ AIP ซึ่งทำให้เรือดำน้ำยังคงต้องมีความเสี่ยงในการที่ระบบปล่อยไอเสียจะสร้างคลื่นเสียงจากฟองอากาศและแรงดันที่ใช้ปล่อยเชื้อเพลิงซึ่งทำให้เรือดำน้ำสามารถถูกตรวจจับได้ง่ายขึ้น

แต่ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีที่รวดเร็ว การลงทุนวิจัยอย่างต่อเนื่อง มาตรฐานทางด้านสิ่งแวดล้อม และประโยชน์ที่ได้จากการพัฒนาซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ ของภาคพลเรือน ทำให้เชื่อว่าในอนาคต เทคโนโลยี AIP ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงน่าจะเป็นคำตอบของระบบ AIP ในอนาคต ซึ่งการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมุ่งที่จะสร้างเซลล์เชื้อเพลิงที่ให้พลังงานสูงขึ้นและมีความปลอดภัยมากขึ้น

การพัฒนาระบบ AIP จะสร้างความเหนือกว่าในการปฏิบัติการซึ่งทำให้เรือดำน้ำสามารถดำน้ำอยู่ใต้น้ำได้เป็นเวลานานและเงียบ ซึ่งเป็นประโยชน์ในภารกิจการหาข่าว หรือการซุ่มโจมตี และทำให้เรือดำน้ำที่มีระบบ AIP จะเป็นภัยคุกคามหลักที่สำคัญของทั้งกองทัพเรือขนาดเล็ก หรือแม้แต่กองทัพเรือของประเทศมหาอำนาจที่จำต้องปฏิบัติการเข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น

ระบบเสริมอื่น ๆ

ปัจจุบันเรือดำน้ำมีทางเลือกที่จะติดตั้งระบบเสริมอื่นๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งรางปล่อยทุ่นระเบิด (Mine Belt) เพื่อทำให้เรือดำน้ำสามารถวางทุ่นระเบิดได้ในพื้นที่ที่ต้องการ หรือการใช้ตอร์ปิโดที่ปล่อยทุ่นระเบิดได้ นอกจากนี้ บางประเทศยังพัฒนาระบบจรวดที่ติดตั้งกับเรือดำน้ำนอกจากจรวดต่อต้านเรือผิวน้ำและโจมตีเป้าหมายบนฝั่งทางยุทธวิธี เช่นการทดลองติดตั้งจรวดต่อสู้อากาศยานแบบ Igla บนเรือดำน้ำ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่เรือต้องลอยขึ้นสู่ผิวน้ำก่อนจึงจะทำการยิงได้ หรือการเปลี่ยนจากการใช้กล้องเพอริสโคปมาเป็นการติดตั้งกล้องทีวีนอกตัวเรือและส่งสัญญาณภาพเข้ามายังตัวเรือแทน ซึ่งทำให้ไม่ต้องมีการเจาะช่องที่โครงสร้างของเรือ

ทั้งนี้ ในปัจจุบันเรือดำน้ำได้รับการประยุกต์ใช้ในหลายภารกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภารกิจการสนับสนุนการปฏิบัติการพิเศษ เช่นการส่งหน่วยปฏิบัติการพิเศษด้วยเรือดำน้ำขนาดเล็กซึ่งติดตั้งอยู่กับเรือดำน้ำ ทั้งนี้ สำหรับประเทศในแถบอาเซียนซึ่งใช้เรือดำน้ำขนาดเล็ก-กลางนั้น มักจะไม่มีการติดตั้งเรือดำน้ำขนาดเล็กกับเรือดำน้ำหลัก แต่จะเป็นการออกแบบเรือดำน้ำให้มีช่องทางในการเข้าออกของหน่วยปฏิบัติการพิเศษใต้น้ำได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่ประเทศไทยก็ควรจะพัฒนาไปเช่นกัน