# ระบบขับเคลื่อนเรือรบด้วยไฟฟ้า

*นาวาเอก รองศาสตราจารย์ มนต์ชัย กาทอง*
*นาวาตรี พีระพงษ์ ทับแย้ม*
*กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ*

ในการสัมมนา "Naval Platform Technology Seminar" ซึ่งจัดขึ้นโดยกองทัพเรือสิงคโปร์เมื่อเดือนพฤษภาคม ๒๕๔๔ มีตัวแทนจากกองทัพเรือชั้นนำหลายประเทศนำเสนอว่าในปัจจุบันกองทัพเรือของตนกำลังหันมาพัฒนาเรือรบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของแนวความคิดในการนำระบบกำลังงานรวม ( Integrated Power System – IPS ) มาใช้กับเรือรบ โดยเมื่อเดือนมกราคม ค.ศ. ๒๐๐๐ กองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้ประกาศว่าเรือพิฆาตโจมตีฝั่ง ( Land Attack Destroyer ) ชั้น DD-21 ซึ่งจะต่อขึ้นใหม่จะใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเป็นหลัก ในประเทศสหราชอาณาจักรและประเทศฝรั่งเศสก็กำลังมีการพัฒนาระบบ "Integrated Full Electric Propulsion" ( IFEP ) สำหรับเรือพิฆาตและเรือฟริเกตรุ่นต่อไป

## การพิจารณาเลือกระบบขับเคลื่อนเรือ

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกระบบขับเคลื่อนของกองทัพเรือชั้นนำสรุปได้ดังนี้

๑. การลดจำนวนกำลังพลประจำเรือ

๒. การลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

๓. การใช้อุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการฝึกกำลังพลและต่อการบำรุงรักษา

๔. การลดความซับซ้อนของเทคโนโลยีที่นำมาใช้ ซึ่งจะทำให้ลดระยะเวลาของการฝึกกำลังพลลง และง่ายต่อการบำรุงรักษา

๕. ความสามารถในการใช้เป็นอุปกรณ์ฝึกกำลังพลในระหว่างการปฏิบัติการ โดยทั่วไปมักอยู่ในรูปของระบบควบคุมเครื่องจักร ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องจำลองการฝึกควบคู่ไปในระหว่างการปฏิบัติการ

๖. เงื่อนไขในการซ่อมบำรุงและการส่งกำลังบำรุง เช่นการสั่งและการส่งมอบอุปกรณ์อะไหล่

๗. ความสามารถในการจัดการและการบริหารระยะไกล ซึ่งในปัจจุบันขีดความสามารถในการสื่อสารทำให้สามารถบริหารงานบางประเภทจากสำนักงานบนบกได้

ปัจจัยดังกล่าวทำให้กองทัพเรือประเทศต่าง ๆ ต้องเปลี่ยนแนวทางจากการใช้เฉพาะข้อมูลและเทคโนโลยี ที่พัฒนาขึ้นเองในกองทัพ ไปเป็นการอิงข้อมูลและเทคโนโลยีของพลเรือนมากขึ้น โดยกองทัพเรือของหลายประเทศได้เน้นการส่งเสริมงานวิจัยให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลและเทคโนโลยีของพลเรือนเข้ากับงานของกองทัพ

ข้อมูลจากทางพลเรือนชี้ให้เห็นว่ากองทัพเรือควรหันมาพิจารณาเรือที่ใช้ระบบไฟฟ้าทั้งลำ ( All-Electric Ships ) เป็นทางเลือกหลักสำหรับทดแทนระบบเชิงกล ( Mechanical System ) โดยเฉพาะสำหรับเรือที่ปฏิบัติงานได้หลากหลายภารกิจ

## ระบบขับเคลื่อนแบบใช้ไฟฟ้าทั้งลำ (Integrated Full Electric Propulsion)

ระบบ IFEP เป็นส่วนหนึ่งของแนวความคิดกำลังงานรวม ( IPS ) ซึ่งจะรวมเป็นระบบผลิตกำลังงานสำหรับเรือทั้งลำ โดยส่วนหนึ่งจะใช้ในการขับเคลื่อนและอีกส่วนหนึ่งจะจ่ายให้กับระบบอื่น ๆ การใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้านั้นเหมาะสำหรับเรือรบ โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่เรือใช้เวลาส่วนใหญ่ในการหันเลี้ยว เช่น การแปรขบวน และในสถานการณ์ที่ใช้ระบบขับเคลื่อนไม่เต็มกำลัง กำลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือจากการใช้ในระบบขับเคลื่อนสามารถนำไปใช้กับภาระส่วนอื่น ๆ ได้ เช่นระบบอาวุธ แสงสว่างในห้องพักอาศัย ห้องครัว และห้องซักรีด เป็นต้น

ในปัจจุบันเรือสินค้าส่วนใหญ่เปลี่ยนจากการใช้เครื่องกังหันไอน้ำมาเป็นการใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นหลักในการขับเคลื่อน โดยกำลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ดีเซลจะส่งผ่านทางเพลาไปยังหมู่เฟืองทดเพื่อขับใบจักรที่ความเร็ว ๑๐๐ ถึง ๑๒๐ รอบ/นาที เครื่องยนต์ดีเซลเป็นที่นิยมสำหรับเรือสินค้าเพราะประหยัดน้ำมัน แต่สำหรับเรือรบนั้นจะต้องเน้นที่ความเร็วควบคู่ไปกับการประหยัด การที่จะนำเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ขับเพลาใบจักรที่ความเร็วสูงกว่า ๒๐๐ รอบ/นาทีจะต้องใช้เครื่องที่ใหญ่มาก ดังนั้นกองทัพเรือส่วนใหญ่จึงหันมาใช้เครื่องกังหันก๊าซ ( Gas Turbine ) หรือระบบร่วมดีเซลและกังหันก๊าซ ( Combined Diesel Or Gas Turbine – CODOG ) ซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วเรือต่ำ และเปลี่ยนไปใช้เครื่องกังหันก๊าซเมื่อต้องการความเร็วสูง โดยกองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้ใช้เครื่องกังหันก๊าซเป็นหลักตั้งแต่ทศวรรษ ๑๙๘๐ ยกเว้นในกรณีเรือบรรทุกเครื่องบินและเรือดำน้ำนิวเคลียร์เท่านั้น

แม้ว่าการใช้เครื่องกังหันก๊าซจะทำให้น้ำหนักของเรือลดลง แต่ก็ยังคงต้องมีระบบเฟืองทดรอบขนาดใหญ่ และต้องมีเพลาที่ต่อออกจากหมู่เฟืองวางผ่านห้องเพลาเพื่อส่งกำลังงานไปยังใบจักร เนื่องจากเครื่องกังหันก๊าซไม่สามารถเดินถอยหลังจึงต้องใช้ใบจักรแบบปรับพิทช์ ( Controllable Pitch Propellers – CPP ) สำหรับการถอยหลัง ระบบ CPP ช่วยในการเปลี่ยนความเร็วเรือโดยคงความเร็วรอบของเครื่อง แต่ข้อเสียของระบบ CPP คือจะต้องมีระบบไฮดรอลิกส์ที่ซับซ้อนในตัวเพลาเพื่อส่งอาการไปปรับมุมใบจักร

ข้อด้อยอีกประการหนึ่งของระบบขับเคลื่อนแบบเดิมก็คือเครื่องกังหันก๊าซและเครื่องยนต์ดีเซลไม่สามารถขับทั้งเพลาใบจักร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อม ๆ กันได้ จึงต้องมีระบบขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแยกต่างหากเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของเรือ

การขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า ( IFEP ) เป็นความคิดที่แหวกแนวออกไปจากระบบขับเคลื่อนแบบเดิม ทั้งนี้เพราะในระบบนี้เครื่องต้นกำลังขับ ( Prime Mover ) จะขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ขับเพลาใบจักร และไปเลี้ยงระบบอื่น ๆ ได้ในขณะเดียวกัน ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไม่ต้องการการเชื่อมต่อเชิงกลระหว่างเครื่องต้นกำลังขับและเพลาใบจักร เพราะสามารถเดินสายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( ซึ่งอาจตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งใดในเรือก็ได้ตามความเหมาะสม ) ไปยัง

มอเตอร์ขับเพลา ใบจักรได้โดยตรง การลดความดังของเสียงนั้นสามารถทำได้โดยการปรับแต่งแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ให้หักล้างกับเสียงของเครื่องจักรกลและใบจักร

เนื่องจากระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ( IFEP ) เป็นระบบผลิตกำลังงานรวมสำหรับเรือทั้งลำจึงทำให้ลดจำนวนเครื่องยนต์ โดยไม่ต้องมีเครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแยกต่างหาก และการที่ไม่จำเป็นต้องมีเพลาต่อระหว่างขับเคลื่อนหลักและมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเพลาใบจักรก็เป็นการขจัดปัญหาเกี่ยวกับระบบเพลา เช่นพื้นที่ห้องเพลา และพื้นที่ท้ายอู่สำหรับการชักเพลาเพื่อซ่อมทำในขณะเรือเข้าอู่

ในราชนาวีอังกฤษกำลังมีการมองไกลไปถึงการนำระบบ "Electric Actuators" มาใช้แทนระบบลมกำลังดันสูงและระบบไฮดรอลิกส์ต่าง ๆ ที่ใช้งานกับเรือปัจจุบัน ซึ่งทำให้สามารถ ใช้ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์อย่างเต็มรูปแบบและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลงได้ นอกจากนั้นยังช่วยให้ลดโอกาสการเกิดไฟไหม้บนเรือ ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากระบบไฮดรอลิกส์ ระบบดังกล่าวจะทำให้เรือมีลักษณะเป็นระบบไฟฟ้าทั้งลำโดยสมบูรณ์

ตัวอย่างการใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าในปัจจุบันได้แก่เรือฟริเกต Type ๒๓ ของราชนาวีอังกฤษ ซึ่งจะเข้าประจำการในปีหน้า โดยจะใช้ระบบ CODLAG ( Combined Diesel Electric and Gas Turbine ) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องยนต์ Gas Turbine รุ่น SM1C ของบริษัท Roll-Royce ๒ เครื่อง เครื่องยนต์ดีเซล 12CM ของบริษัท Paxman ๔ เครื่อง และมอเตอร์ของบริษัท ALSTOM ๒ ชุด สามารถให้กำลังงานได้ 3 MW

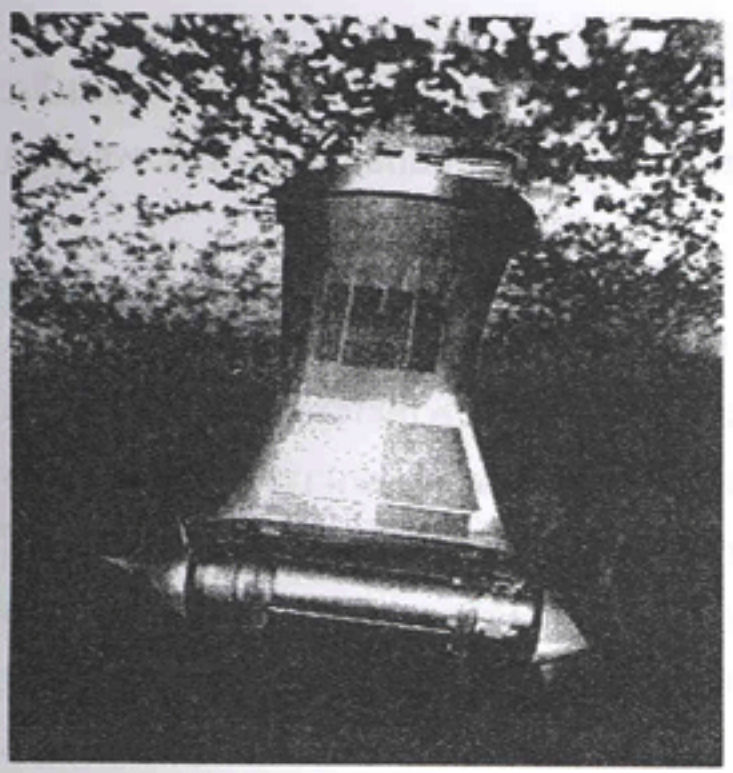
ระบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในเรือยกพลขึ้นบกบางลำ เช่น HrMs Rotterdam ของราชนาวีเนเธอร์แลนด์ และล่าสุด เรือ Wasp-Class ( LHD8 ) ของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ระวางขับน้ำ ๔๐,๕๐๐ ตัน ขับเคลื่อนโดยระบบ Hybrid Gas Turbine/Diesel-Electric Suite ซึ่งใช้ทั้งในการขับเคลื่อนเรือ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบต่าง ๆ ในเรือ ระบบนี้มีพื้นฐานมาจากเครื่องกังหันก๊าซ รุ่น LM2500+ ของบริษัท GE Marine Engine เป็นเครื่องกังหันดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์เจ็ทของเครื่องบิน ( Aero-Derived Gas Turbine ) ที่พัฒนามาใช้กับเรือโดยสารข้ามช่องแคบ ( Fast Ferries ) และเรือโดยสารขนาดใหญ่ ( Cruise Liners )

## ระบบขับเพลาใบจักรในอนาคต

ในปัจจุบันระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าใช้เครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังมอเตอร์เหนี่ยวนำ ( Induction Motor ) เพื่อขับเพลาใบจักร อย่างไรก็ตามหลายประเทศกำลังพัฒนาเทคโนโลยีในการขับเพลาใบจักรในรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

### ระบบ Podded Drive

เหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้กองทัพเรือหลายประเทศหันมาให้ความสนใจกับระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าก็คือการได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายของระบบ Podded Drive ระบบนี้



*รูปที่ ๑ ระบบ Podded Drive*

มีลักษณะเป็นใบพัดขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถส่ายไปมาได้ติดตั้งอยู่ภายนอกตัวเรือ ระบบ Podded Drive นี้ประสบความสำเร็จมากกับเรือสินค้า ทั้งนี้เพราะมีข้อได้เปรียบหลายประการกล่าวคือตัวสามารถนำมาติดตั้งในช่วงท้าย ๆ ของการต่อเรือได้ แทนที่จะต้องทำการติดตั้งไปพร้อม ๆ กับการสร้างส่วนอื่น ๆ ของเรือดังเช่นระบบขับเคลื่อนแบบเดิมการติดตั้งและการถอดประกอบก็สามารถทำได้ง่ายกว่า ทั้งนี้เพราะระบบขับเคลื่อนเดิมมีส่วนประกอบทั้งที่เป็นเครื่องยนต์ระบบเกียร์ เพลาและใบจักร ระบบ Podded Drive ทำให้การหันเลี้ยวมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะไม่จำเป็นจะต้องมีระบบหางเสือที่สลับซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามระบบ Podded Drive ยังคงมีปัญหาบางประการที่จะต้องแก้ไขก่อนที่จะนำมาใช้กับเรือรบ เช่นความเปราะบางต่อแรงกระแทกอย่างรุนแรง ( Shock ) และความยุ่งยากในการควบคุมการแพร่กระจายของคลื่นเสียง และแม่เหล็ก

ตัวอย่างของเรือรบที่นำระบบ Podded Drive มาใช้ได้แก่เรือบรรทุก ฮ. Tonnerre และ Mistral ของประเทศฝรั่งเศส โดยบริษัท ALSTOM และ บริษัท Kamewa ( ซึ่งเป็นบริษัทลูกของ Rolls-Royce ) ได้ร่วมมือกันพัฒนาระบบขับเคลื่อน Mermaid Pod Propulsion System ซึ่งเป็นการรวมเอาความชำนาญในด้านระบบขับเคลื่อน ด้านพลศาสตร์ทางเรือ และ Azimuthing Thrusters ของบริษัท Kamewa เข้ากับความชำนาญด้านระบบไฟฟ้า และระบบควบคุมอัตโนมัติของบริษัท ALSTOM

มอเตอร์ของระบบ Mermaid นี้ถูกออกแบบให้สามารถทำงานที่ภาระสูงเกินครึ่งหนึ่งของภาระสูงสุดอย่างต่อเนื่องได้แม้ว่ามีการผิดปกติของขดลวด นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการหยุดการหมุนของเพลา อุปกรณ์จับเพลา และอุปกรณ์ช่วยหมุนเพลาอย่างช้า ๆ เพื่อช่วยในการซ่อมทำ

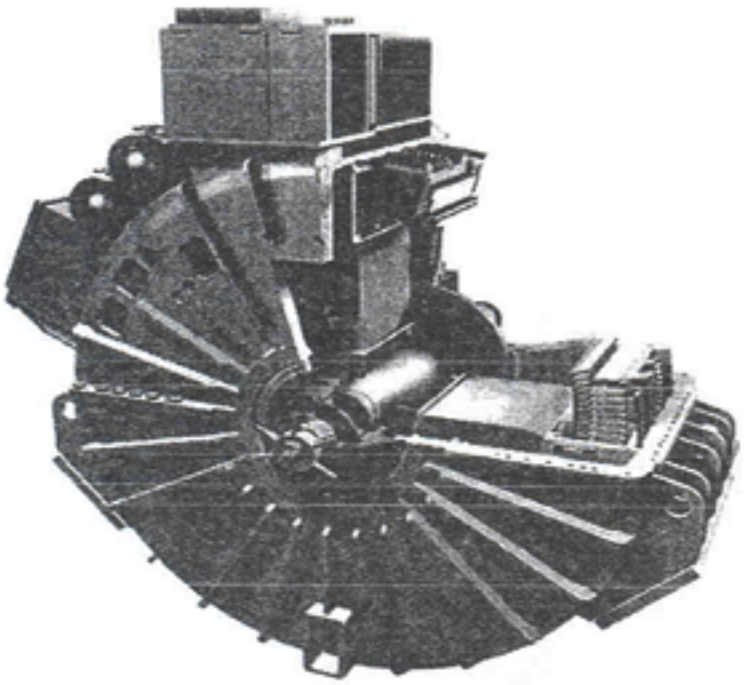
ใบจักรเป็นแบบพิทช์คงที่รุ่น HS ของบริษัท Kamewa เดินเงียบและมีความสั่นสะเทือนต่ำ มีทั้งแบบแยกปีกได้แต่ละใบ ( Separately Bolted Blade ) หรือเป็นแบบประกอบเป็นชิ้นเดียว ( Monobloc ) ซึ่งทั้งสองแบบสามารถถอดหรือประกอบแบบยกชุดได้ ข้อได้เปรียบของใบจักรแบบแยกปีกคือสามารถทำการถอดประกอบได้ง่ายกว่าในกรณีเกิดความเสียหาย มีซีลกันน้ำเพื่อป้องกันการรั่วของน้ำมันลงสู่ทะเล ซีลทั้งที่ตัวใบจักรและที่ Azimuth Turning สามารถถอดเปลี่ยนได้แม้ขณะเรืออยู่ในน้ำ

ตัว Pod ซึ่งอยู่ภายนอกตัวเรือสามารถทำการหันเลี้ยวได้ 360° หรือสามารถใช้ระบบไฮดรอลิกส์ช่วยปรับหันเลี้ยวได้เป็นมุม ±35° ในระหว่างการขนย้าย ส่วนประกอบหลักที่อยู่ใต้น้ำได้แก่ซิงโครนัสมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน ( Brushless synchronous motor ) ที่ถูกออกแบบให้เป็นการลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Pod เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ พลศาสตร์ทางเรือ และเพิ่มประสิทธิภาพ

ของการระบายความร้อนโดยน้ำทะเลที่อยู่รอบ ๆ

อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อถกแถลงกันอยู่ว่าระบบนี้จะสามารถนำมาใช้ในการขับเคลื่อนเรือขนาดเรือพิฆาตหรือฟริเกตได้หรือไม่ ทั้งนี้เพราะเรือขนาดดังกล่าวต้องการ Podded Drive มีน้ำหนักเบาขนาดเล็กแต่ให้กำลังสูง

**Transverse Flux Motor (TFM)**



*รูปที่ ๒ Transverse Flux Motor*

ในกรณีของสหราชอาณาจักร ราชนาวีอังกฤษได้ให้งบประมาณสนับสนุนการพัฒนาระบบ Transverse Flux Motor ( TFM ) ขนาด 20 MW ซึ่งเป็นระบบที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ( Power Electronics ) ร่วมกับวัสดุที่มีความเป็นแม่เหล็กถาวร ( Permanent Magnet Material – PMM ) ระบบ TFM นี้จะพัฒนาได้เป็นมอเตอร์ที่ให้กำลังงานและค่าแรงบิดในรูปแบบ Torque Density สูงสำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบ IFEP ซึ่งจะส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพสูงในย่านความเร็วที่กว้าง ให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ทุกความเร็ว ลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ลดค่า Signatures ต่าง ๆ ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับหมู่เฟืองทด การวางเพลา และระบบอากาศระบายความร้อน

การศึกษาระบบ TFM เริ่มมาตั้งแต่ ค.ศ. ๑๙๙๗ แต่ที่ผ่านมาพบว่าระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ามีขนาดใหญ่เกินกว่าจะนำมาใช้กับเรือรบ การพัฒนาระบบที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังร่วมกับวัสดุที่มีความเป็นแม่เหล็กถาวรที่เป็นส่วนประกอบของมอเตอร์จะทำให้สถานการณ์ดังกล่าวเปลี่ยนไป ปัจจุบันบริษัท Rolls-Royce ร่วมกับบริษัท ALSTOM และ Defense Evaluation & Research Agency ( DERA ) ได้สร้างเครื่องสาธิตขนาด 2 MW และจะนำไปทดสอบที่โรงงาน Pyestock ของ DERA หากการพัฒนาออกแบบระบบ TFM ดำเนินไปด้วยดีจนสามารถพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กที่ให้กำลังงานสูง การออกแบบเรือรบในอนาคตจะเปลี่ยนไปเพราะไม่ต้องมีระบบเฟือง ระบบคลัทช์ และระบบเพลาจากเครื่องต้นกำลังขับมายังใบจักร ซึ่งทำให้สามารถลดระวางขับน้ำของเรือหรือเพิ่มจำนวนอาวุธและยุทธโธปกรณ์ต่าง ๆ บนเรือรบได้

**Superconducting Motors**

กองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้หันมาให้ความสนใจต่อ Superconducting Motor ตั้งแต่ ค.ศ. ๑๙๘๐ โดยใน ค.ศ. ๑๙๘๓ ได้ทำการทดลอง Superconducting Motor กระแสตรงขนาด ๓๐๐๐ แรงม้าบนยานทดสอบ Jupiter II กองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ได้เล็งเห็นประโยชน์ของการใช้ Superconducting Motor

เนื่องจากมันให้ค่า Power Density สูง มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำจนเกือบจะเป็นศูนย์ และไม่มีเสียงดัง

การที่ Superconducting Motor สามารถให้ค่าแรงบิดสูง ณ ความเร็วรอบต่ำ ทำให้สามารถต่อเพลาผ่านคัปปลิ้งไปขับเพลาใบจักรได้โดยไม่ต้องผ่านชุดเฟืองทดรอบ นอกจากนั้น Superconducting Motor ยังมีขนาดเล็กเหมาะกับการนำไปใช้ในเรือที่มีพื้นที่จำกัด

ใน ค.ศ. ๑๙๙๙ สำนักงานวิจัยของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ( Office of Naval Research – ONR ) ได้ทำสัญญาว่าจ้างบริษัท American Superconducting Corp. เพื่อทำการออกแบบ ( Preliminary Design ) Superconducting Motor กระแสสลับ ขนาด ๓๓,๐๐๐ แรงม้า และบริษัทได้พัฒนาตัวนำ bismuth-2223 ซึ่งสามารถมีค่า Critical Current Density ๒๔,๐๐๐ amp/cm$^2$ ที่อุณหภูมิ ๗๗ เคลวิน ( K ) ( -๒๐๔ เซลเซียส ) และที่อุณหภูมิ ๓๐ K ค่านี้อาจเพิ่มขึ้นเป็น ๔๕,๐๐๐ - ๗๕,๐๐๐ amp/cm$^2$ และที่สำคัญก็คือภายใต้ความเค้นสูงถึง ๑๑,๕๐๐ Psi ตัวนำนี้ยังสามารถรับค่ากระแสได้ถึง ๙๐% ของค่า Critical Current Density มอเตอร์ชนิดนี้ทำงานภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ต่ำไม่มากเมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงที่กล่าวข้างต้น ดังนั้นมอเตอร์ชนิดนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานมากกว่า อย่างไรก็ตามกองทัพเรือสหรัฐอเมริกายังคงทำการวิจัยมอเตอร์กระแสตรงอย่างต่อเนื่องโดยทดลองนำระบบทำความเย็นอุณหภูมิต่ำแบบ Cryogenic Refrigeration ( ใช้สำหรับเครื่องมือ Magnetic Resonance Imaging ( MRI ) ทางการแพทย์ ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิต่ำถึง ๔.๒ K ) มาประยุกต์ใช้ได้

มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้จะมีขนาดที่เล็กกว่ามอเตอร์แบบเก่า ซึ่งจะมีผลเมื่อนำมาใช้กับเรือรบ เพราะจะทำให้ง่ายในการหาพื้นที่ติดตั้ง สามารถลดระวางขับน้ำของเรือหรือตัวเรือเบาขึ้น ( มีประโยชน์เมื่อพิจารณา Longitudinal Moment โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมอเตอร์ติดตั้งบริเวณท้ายเรือ ) และทำให้ผู้ออกแบบตัวเรือมีความอ่อนตัวในการเลือกแบบตัวเรือที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็ก ก็คือ ไม่ต้องมี Iron Teeth ทำให้ค่า Current Density ไม่ถูกจำกัดโดยจุดหลอมละลายของเหล็ก บริษัท American Superconducting Corp. คาดว่ามอเตอร์นี้จะมีขนาดเพียงเศษหนึ่งส่วนสี่ของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ( PMM ) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ใช้ระบบ IGBT ( Insulated Gate Bipolar Transistor ) เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วไป ทำให้ไม่ต้องใช้ใบจักรแบบปรับพิทช์ ( CPP )

## สรุป

อีกไม่นานเราอาจได้เห็นเรือรบที่เป็นระบบไฟฟ้าทั้งลำเข้ามาแทนที่ระบบขับเคลื่อนเชิงกล โดยอาจใช้เทคโนโลยีแบบใดแบบหนึ่งหรือทั้งสามแบบที่กล่าวข้างต้น หรืออาจเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่กว่าทั้งสามแบบก็ได้ ซึ่งโดยสรุปแล้วข้อได้เปรียบหลักของเรือที่ใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า คือ

- ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลง

การลดจำนวนเครื่องจักรขับเคลื่อนทำให้ลดจำนวนการจัดหาเครื่องจักร ลดค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิง และการลดกำลังพลประจำเรือเนื่องจากระบบจะมีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้น

- เพิ่มขีดความสามารถในการหลบเลี่ยงจากการถูกโจมตี

การจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ประกอบไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงตำแหน่งของเพลาใบจักร จึงสามารถจัดวางโดยคำนึงถึงการลดค่า Signature ของเรือได้

- มีพื้นที่ในการติดตั้งระบบอาวุธและอุปกรณ์ตรวจจับเพิ่มขึ้น

เนื่องจากพื้นที่ของระบบขับเคลื่อนลดลง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะผลิตกำลังงานเพียงพอต่อการใช้งานต่าง ๆ ของเรือทั้งลำ จึงมีเนื้อที่และกำลังงานเหลือเพียงพอต่อการรองรับระบบอาวุธใหม่ ๆ ในอนาคต เช่น อาวุธไมโครเวฟ หรือ เลเซอร์กำลังสูง โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงระบบมากนัก

---

**เอกสารอ้างอิง**

1. Jaris Janssen Lok, **Powering Warship Trends,** Jane's International Defense Review, Vol 34, July 2001, PP. 46-52.
2. Paul Sharke, The Hunt for Compact Power, Mechanical Engineering Magazine, April 2000.
3. Siemens AG – Electric Propulsion Systems, http://www.naval-technology.com/contractors/propulsion/siemens_ag/.