“Water-Jet Propulsion” มีนามเรียกขานว่า “เครื่องพ่นน้ำ”

นาวาเอก กิตติ์ธนภูมิ ว่องวรานนท์
หัวหน้า โรงงานเครื่องกล กองโรงงาน อู่ทหารเรือธนบุรี กรมอู่ทหารเรือ

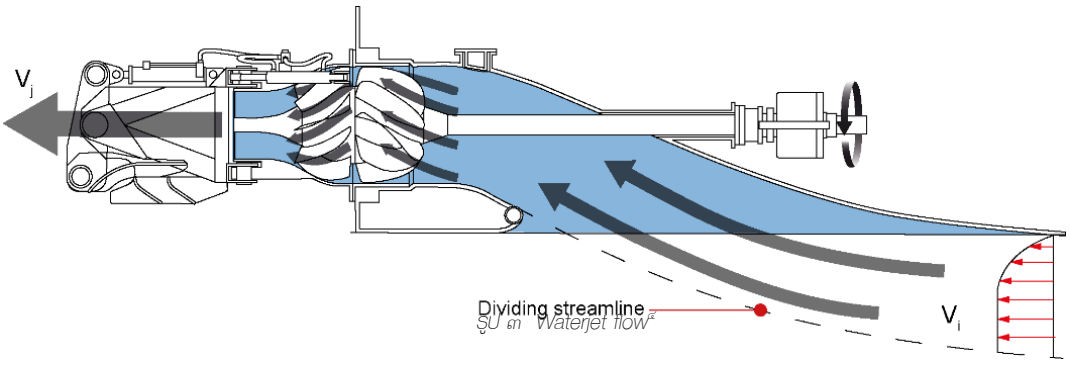
รูปที่ ๑ SHIP WATER-JET DRIVE รุ่น HT๑๐๐๐[๒]

Water-Jet Propulsion เป็นระบบหนึ่งที่ทั่วโลกนำมาใช้ในระบบขับเคลื่อนเรืออย่างแพร่หลาย สำหรับกองทัพเรือไทยนั้นมักคุ้นหูกับคำว่า “เครื่องพ่นน้ำ” ต้นกำเนิดของระบบขับเคลื่อนแบบวอเตอร์เจ็ทนั้น ได้มีการอ้างอิงไว้ เมื่อปี ค.ศ. ๑๖๖๑ โดยนาย Toogood และนาย Hayes[๑] ได้อธิบายของหลักการของเรือที่มีช่องทางน้ำบริเวณส่วนกลาง ซึ่งได้ติดตั้งปั๊มน้ำแบบลูกสูบหรือปั๊มแบบแรงเหวี่ยง พบว่าแรงดันน้ำสามารถที่จะสร้างแรงผลักให้เรือเคลื่อนที่ได้ และในช่วงเวลาต่อมาหลักการดังกล่าวได้มีการพัฒนาและมีการนำมาใช้งานมากขึ้น โดยเฉพาะในเรือที่ใช้ความเร็วสูงขนาดเล็ก และมีการประยุกต์ใช้งานกับเรือขนาดใหญ่มากขึ้น ดังรูปที่ ๑ เป็น Waterjet ของบริษัท HamiltonJet ที่มีกำลังสูงขนาด ๕,๕๐๐ kW (๗,๔๗๘ hp) และรูปที่ ๒ เป็นเรือรบประเภท LCS ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีนามเรียกขานว่า Independence ระวางขับน้ำขนาด ๓,๑๐๔ metric tons full ระบบขับเคลื่อบแบบ Waterjet จำนวน ๔ เครื่อง ความเร็ว ๔๔ knots

รูปที่ ๒ The U.S. Navy littoral combat ship USS Independence (LCS-๒)[๑]

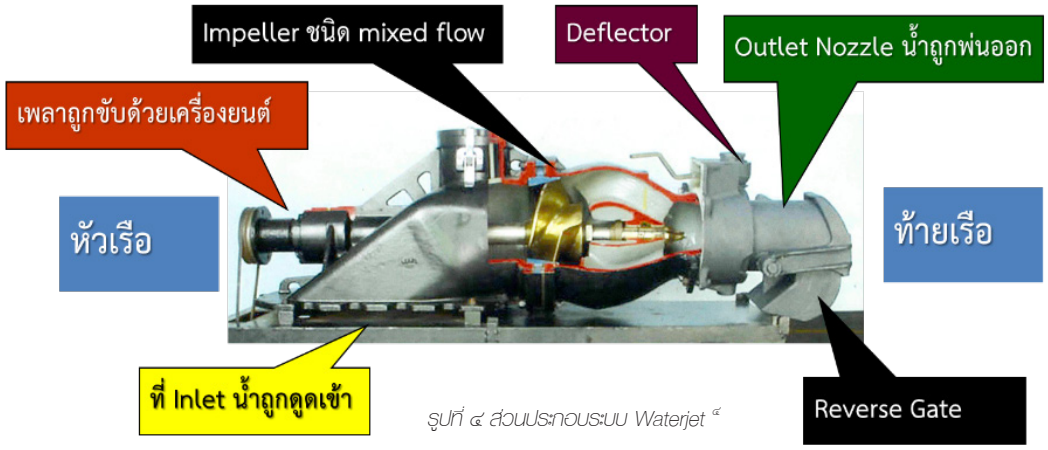
หลักการทำงาน

ระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet เป็นปั๊ม (Pump) ชนิด Mixed Flow ที่ใช้หลักการการทำงานของปั๊ม กล่าวคือ เมื่อมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ทำงานจะทำให้ใบพัดน้ำถูกหมุน ส่งผลให้น้ำถูกดูดเข้ามาทางทางดูดน้ำผ่านใบพัด น้ำเข้าสู่ครีบผันน้ำ ในบริเวณนี้น้ำจะถูกทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วไหลผ่านเข้าสู่หัวพ่นน้ำที่มีพื้นที่ทางออกลดลง ทำให้น้ำที่พ่นออกมาบริเวณท้ายเรือจะมีความเร็วสูง ความแตกต่างของความเร็วน้ำทางเข้าและทางออกทำให้เกิดโมเมนตัม สร้างแรงผลัก (Trust) ทำให้เรือสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูง เมื่อต้องการลดความเร็ว หยุดเรือหรือถอยหลัง สามารถทำได้โดย การเคลื่อนตัว Reverse Bucket ลงมาขวางทางพ่นน้ำของหัวพ่นน้ำ หัวพ่นน้ำพับลงมาต่ำมากเท่าใด ยิ่งทำให้เรือเกิดแรงต้านเพิ่มมากขึ้น จนสามารถหยุดเรือหรือถอยหลังได้ ในส่วนของ Deflector เปรียบเสมือนหางเสือ คือ มีหน้าที่เปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ของเรือจากการหักเหการไหลของน้ำที่พ่นออกมาจากหัวพ่นน้ำ ดังรูปที่ ๓



รูป ๓ Waterjet flow[๒]

ระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ ๑. ทางดูดน้ำ(Intake Duct) ๒. ใบพัด (Pump Impeller) ๓. ครีบผันน้ำ (Stator) ๔. หัวพ่นน้ำ (Outlet Nozzle) ๕. Reverse Bucket ๖. Deflector ดังรูปที่ ๔



รูปที่ ๔ ส่วนประกอบระบบ Waterjet [๔]

คุณสมบัติพิเศษของเครื่อง Waterjet[๕]

• Waterjet ไม่มีความจำเป็นต้องมีใบจักรอยู่ใต้ท้องเรือ ทำให้ไม่เกิดการกระทบกับวัตถุใต้น้ำ และลดปัญหาอุบัติเหตุทางน้ำได้ในกรณีที่มีคนอยู่ในบริเวณใกล้ๆ

• สามารถแล่นในน้ำตื้นได้ เนื่องจากตัวเรือกินน้ำตื้นและไม่มีส่วนที่ยื่นออกจากตัวเรือ จึงมีความต้านทานตัวเรือที่ต่ำ

• สามารถบังคับทิศได้ทุกอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของเรือเป็นไปอย่างรวดเร็วและสามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ทันทีที่ต้องการ

• การดูดซับกำลังของตัวเครื่อง Waterjet ไม่มีผลกระทบกับความเร็วของตัวเรือ

• มีความสั่นสะเทือนน้อยและเกิดสัญญาณเสียงใต้น้ำต่ำ

• สามารถออกแบบระบบขับเคลื่อนได้โดยอิสระจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวเรือ–ใบจักร–แรงบิดเครื่องยนต์ได้

เทคโนโลยี Waterjet และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[๖]

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบขับเคลื่อนWaterjet และ Propeller จะพบว่า ประสิทธิภาพของ Waterjet จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นและจะมีค่าน้อยลงเมื่อเรือมีความเร็วลดต่ำลง ทั้งนี้ เมื่อเรือมีความเร็วต่ำ ค่า Momentum Efficiency จะมีค่าต่ำเช่นกัน เนื่องจากไม่สามารถ Optimize ความแตกต่างความเร็วของของไหลที่ Inlet และ Outlet ได้ ฉะนั้น จะมีความเหมาะสมกว่า ถ้าจะใช้ระบบขับเคลื่อน Waterjet กับเรือที่ปกติใช้กับงานซึ่งต้องการความเร็วที่สูงเกินกว่า ๒๕ น็อต เพราะประสิทธิภาพของ Waterjet จะไม่ลดลงเหมือนกับระบบขับเคลื่อนซึ่งใช้ ใบจักรหรือ Propeller

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีการนำ Waterjet มาใช้กับเรือเร็วชนิดต่างได้มีขึ้นอย่างแพร่หลาย และกำลังก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในต่างประเทศ เช่น ประเทศออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ มีการศึกษาแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในส่วนของ Intake Duct ของตัวเรือน Waterjet นั้นมีความสำคัญอย่างมากที่จะต้อง ออกแบบให้มีการไหลของ Flow ที่มี Turbulence ที่เหมาะสม เพราะ Intake Duct เป็นจุดเริ่มต้นของ Flow ซึ่งจะถูกส่งต่อเข้าสู่ส่วนอื่นของระบบเช่น ตัว Impeller และ Stator จนพ่นสู่ภายนอกผ่าน Exit Nozzle ในที่สุด ลักษณะการไหลของ Flow ผ่าน Inlet Duct จึงเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดค่าประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนและเรือ

มหาวิทยาลัยทาสมาเนีย (University of Tasmania) แห่งประเทศออสเตรเลีย ได้ทำการวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่องนี้โดยตรง กล่าวคือ ลักษณะ Non-uniform Flow ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่ง Waterjet Intake ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพ ของ Jet อีกทั้งยังทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจาก Cyclically Varying Loads และ Local Cavitations ณ Impeller และอาจจะส่งผลให้เกิด Fatigue ที่เนื้อโลหะได้เช่นกัน คณะวิจัยของมหาวิทยาลัยได้เสนอวิธีแก้ไขปัญหาการเกิด Flow Distortion เช่นนี้โดยการ ติดตั้ง Vortex Generator ภายใน Intake เพื่อปรับปรุง Flow Uniformity โดยใช้ CFD (Computational Fluid Dynamics) ในการศึกษาวิเคราะห์ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของ Vortex generator และใช้ Cavitation Tunnel ในการทดลองเพื่อกำหนด Validation

คณะวิจัยที่ Tasmania University เชื่อว่าการติดตั้ง อุปกรณ์ชิ้นนี้เข้าไป ณ จุด Intake ของ Waterjet อย่างเหมาะสม เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของ Waterjet แนวทางหนึ่ง ซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ และสามารถลดปัญหาการเกิด Turbulence และ Cavitationได้ ปกติแล้ว Vortex Generator จะเป็นที่รู้จักมากในงานที่เกี่ยวข้องกับวิศวรรมอากาศยาน เป็นส่วนหนึ่งที่ติดตั้งที่ปีกเครื่องบิน เพื่อช่วยให้การไหลของอากาศ มีลักษณะ เป็น Uniform มากยิ่งขึ้น ลดการไหลผ่านของอากาศแบบปั่นป่วนหรือ Turbulent flow และช่วยชะลอการเกิด Boundary layer separation ณ Trailing edge

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

• คุณลักษณะกลศาสตร์ของไหลของระบบวอเตอร์เจ็ต[๕]

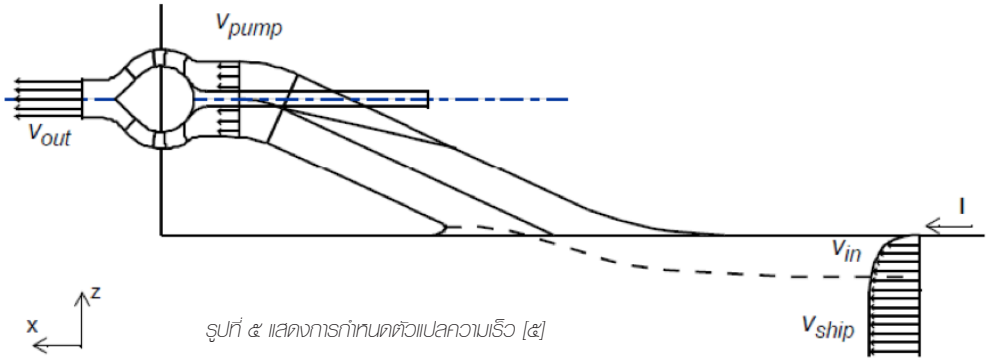
สมการสำหรับสมรรถนะและแรงผลักของเครื่องสูบน้ำจะถูกให้ใช้เป็นความเร็วจำเพาะ (Specific Velocity) สี่ความเร็วหลักที่ต่างกันที่ใช้ในการคำนวณเป็นไป ดังรูปที่ ๕ ดังนี้

๑. ความเร็วเรือ (Ship Speed, V_{ship})

๒. ความเร็วทางเข้าปากท่อ (V_{in})

๓. ความเร็วก่อนเข้าใบพัดในแนวแกนเพลา (V_{pump})

๔. ความเร็วทางออก (V_{out})



รูปที่ ๕ แสดงการกำหนดตัวแปลความเร็ว [๕]

• อัตราส่วนความเร็วทางเข้า (Inlet Velocity Ratio)

ความเร็วก่อนเข้าใบพัดในแนวแกนเพลา (V_{pump}) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_{pump} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_{inlet}^2}$$

ซึ่ง คือ ปริมาตรการไหลผ่านเครื่องสูบน้ำ และ D$inlet$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ ความเร็วนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญที่อธิบายปรากฏการการไหลในทางเข้าที่ความเร็วเปลี่ยนจากความเร็วเรือเป็นความเร็วทางเข้าเครื่องสูบน้ำ ความเร็วเครื่องสูบน้ำจะถูกจับให้มาสัมพันธ์กับความเร็วเรือผ่านสมการ

อัตราความเร็วทางเข้า (Inlet Velocity Ratio, IVR

$$IVR = \frac{V_{pump}}{V_{ship}}$$

• อัตราส่วนการพ่น (Jet Velocity Ratio)

ความเร็วทางออก V_{out} Nozzle ของวอเตอร์เจ็ตถูกจับมาทำความสัมพันธ์กับปริมาตรการไหลที่ผ่านเครื่องสูบน้ำและเส้นผ่านศูนย์กลาง Nozzle ดังนี้

$$V_{out} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_{nozzle}^2}$$

ความเร็วทางออกถูกจับมาสัมพันธ์กับความเร็วทางเข้า ด้วยอัตราส่วนความเร็วพ่น μ ดังนี้

$$\mu = \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

การคำนวณค่ากำลังขับเคลื่อน (Propulsion Power) สามารถหาได้จาก

$$P_T = TV_s = \dot{m}V_3(V_2 - V_1)$$

กำลังที่ปั๊มต้องใช้ในการทำงานสามารถพิจารณาได้ ดังนี้

$$P_{pump} = \dot{m}\left[\frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(h_2 - h_{loss})\right]$$

ประสิทธิภาพของเครื่อง waterjet จึงสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\eta_{waterjet} = \frac{P_T}{P_{pump}}$$

สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำสามารถแสดงในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้หน่วย สมรรถนะถูกแสดงในเทอมของอัตราการไหล ความสูงหัวน้ำ และพฤติกรรมคาวิเตชั่น ในรูปแบบไร้หน่วย อัตราการไหลผ่านเครื่องสูบน้ำถูกกำหนดให้เป็น สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ดังนี้

$$\varphi = \frac{Q}{\Omega D^3}$$

สัมประสิทธิ์ความสูงหัวน้ำ ถูกกำหนดไว้ดังนี้

$$\Psi = \frac{gH}{(\Omega D)^2}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลหน่วย [m^3/s]

Ω คือ ความเร็วของใบจักร [rad/s]

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางใบจักร [m]

H คือความสูงหัวน้ำ [m]

จากตัวแปรไร้หน่วยข้างต้นจะทำให้นำไปสู่นิยามของความเร็วจำเพาะ N_s (Specific Speed) ซึ่งเป็นค่าสำคัญในการออกแบบปั๊มหรือเลือกการใช้งานให้เหมาะสม ซึ่งปั๊มแต่ละชนิดจะมีค่าความเร็วจำเพาะ N_s (Specific Speed) ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ ๑ โดยความเร็วจำเพาะจะสอดคล้องกับจุดประสิทธิภาพสูงสุด คือ

$$N_s = \frac{\phi^{1/2}}{\psi^{3/4}}$$

สามารถลดรูปทั่วไปได้ คือ

$$N_s = \frac{\Omega\sqrt{Q}}{(g.H)^{3/4}}$$

ซึ่ง Ω คือ ความเร็วของใบจักร [rad/s]

Q คือ อัตราการไหล [m^3/s]

H คือ ความสูงหัวน้ำ [m]

ตารางที่ ๑ Typical specific speed ranges of various pump types

Pump type	***Approximate N_S (rad)***
Centrifugal pump	Below 1.2
Mixed flow pump	1.2–3.0
Axial flow pump	3.0–7.0
Inducers	Above 7.0

Waterjet Propulsion ที่ใช้งานในกองทัพเรือไทย

กองทัพเรือไทยมีความคุ้นเคยกับใช้งานระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet ตั้งแต่การได้รับมอบเรือ PBR (Patrol Boat River) จากประเทศสหรัฐอเมริกา ในห้วงสงครามสงครามเวียดนาม (พ.ศ.๒๕๑๑) โดยสังกัดขึ้นตรงกับกองเรือลำน้ำและมีพื้นที่ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ในพื้นที่แม่น้ำโขง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเรือให้มีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น คือ เรือ SOC-R (Special Operation Craft Riverine) ซึ่งก็ยังคงนำระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet มาใช้งาน ดังรูปที่ ๖ นอกจากนี้ กองทัพเรือยังมีการใช้ระบบขับเคลื่อน Waterjet กับเรือระบายพล LCM ของเรือหลวงอ่างทอง อีกด้วย เนื่องจากคุณสมบัติด้านข้อดีที่สามารถเข้าในพื้นที่เขตน้ำตื้นได้ ดังรูปที่ ๗ ยิ่งไปกว่านั้น ด้วยคุณสมบัติด้านกลศาสตร์การไหลของ Waterjet ที่เป็นแบบ Axial flow ซึ่งมีอัตราการสูบส่งที่สูงกว่าปั้มแบบอื่น กองทัพเรือจึงนำมาประยุกต์ใช้กับเรือผลักดันน้ำ ดังรูปที่ ๘

Patrol Boat River; PBR

Special Operation Craft Riverine; SOC-R

รูปที่ ๖ เรือปฏิบัติการในลำน้ำที่ใช้ในหน่วยงาน นรข.ทร.

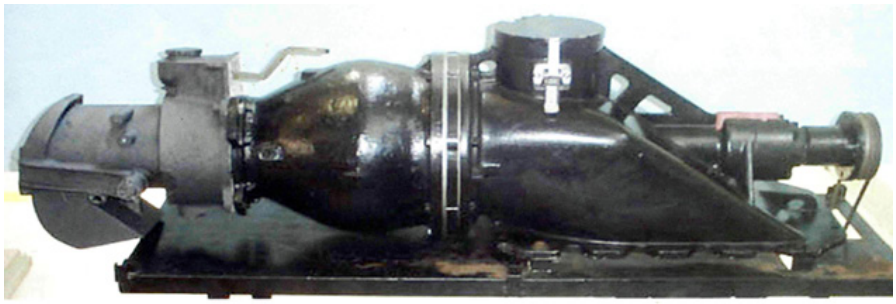
รูปที่ ๗ ระบบขับเคลื่อน Waterjet ที่ใช้ในเรือ LCM ของเรือหลวงอ่างทอง

กองทัพเรือ
ROYAL THAI NAVY

รูปที่ ๘ การนำ Waterjet มาประยุกต์ใช้กับเรือผลักดันน้ำ

การพัฒนาด้านงานวิจัยระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet รุ่น Jacuzzi ๑๔YJ

จุดเริ่มต้น จากการที่กรมอู่ทหารเรือ ได้พัฒนาการต่อเรือตรวจการณ์ลำน้ำ หรือเรียกว่า PBR (Patrol Boat Riverine) ขึ้นใช้เองตามนโยบายพึ่งพาตนเองของ ทร. และมีการพัฒนาการผลิตด้วยการหล่อขึ้นรูประบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet รุ่น Jacuzzi ๑๔YJ ที่โรงงานหล่อหลอม อธบ.อร. โดยวิธีการทำวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) เป็นผลสำเร็จ โดย ท่าน พล.ร.อ.อุดมสวัสดิ์ เอกภูมิ นับเป็นก้าวสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาสร้างสายการผลิตอย่างต่อเนื่องจวบจนถึงวันนี้ ดังรูปที่ ๙



รูปที่ ๙ ระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet รุ่น Jacuzzi ๑๔YJ ที่สร้างโดยโรงงานหล่อหลอม อธบ.อร.

กระบวนการวิศวกรรรมย้อนรอย Waterjet ของกรมอู่ทหารเรือ[๙]

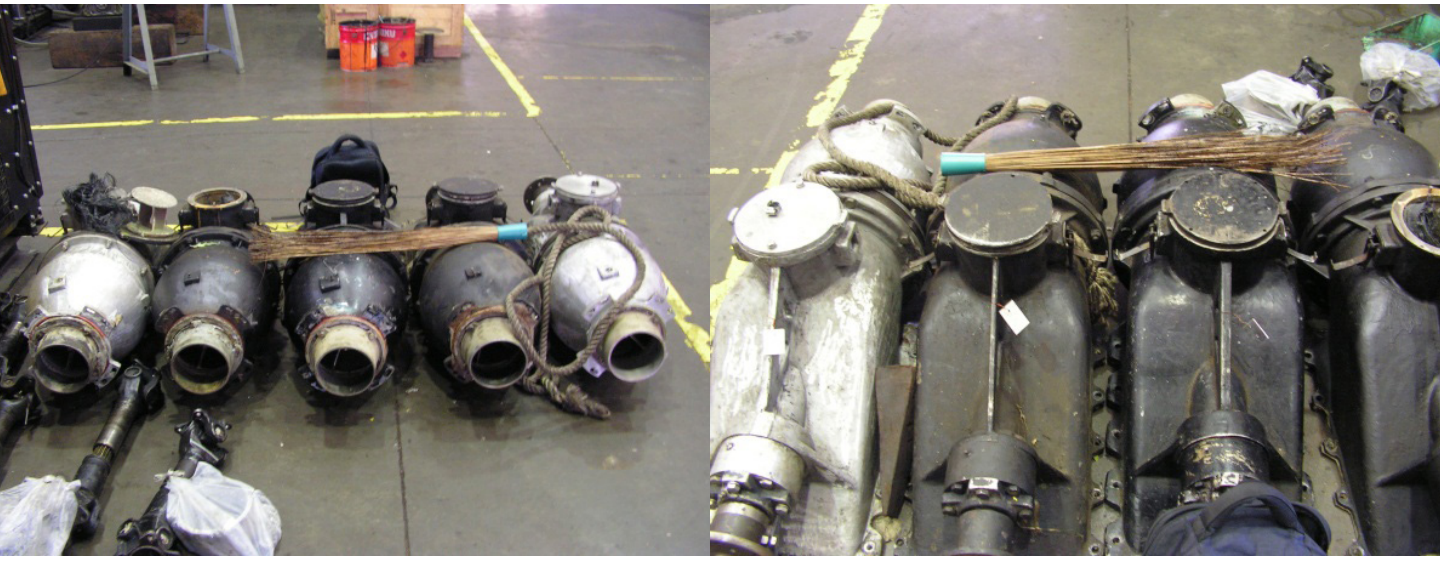
กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยเครื่องพ่นน้ำ Marine Jet รุ่น ๑๔ YJ จำเป็นต้องทำการศึกษาข้อมูลจากต้นแบบ ไม่ว่าจะเป็นขนาด (มิติ) ชนิดวัสดุ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ที่ประกอบขึ้นมาเป็นเครื่องพ่นน้ำ และนำมาศึกษาเพื่อสร้างขึ้นใหม่ให้สามารถทำงานได้เช่นเดิม โดยสามารถกำหนดขั้นตอนการดำเนินการ ได้แก่

๑. ศึกษาต้นแบบเครื่องพ่นน้ำจากต่างประเทศ
๒. แยกชิ้นส่วนประกอบทั้งหมด เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะโลหะ
๓. ตรวจสอบมิติและเขียนแบบ
๔. จัดทำแบบหล่อด้วยไม้แบบ
๕. จัดสร้างแม่พิมพ์แบบทราย
๖. หล่อขึ้นรูปเครื่องพ่นน้ำ
๗. กลึง กัด ตัด ไส เพื่อให้ได้ขนาดเทียบเท่าต้นแบบ
๘. ตรวจสอบขนาดและคุณลักษณะโลหะ

รูปที่ ๑๐ กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยเครื่องพ่นน้ำ Marine Jet รุ่น ๑๔ YJ โดย กรมอู่ทหารเรือ

กรมอู่กับการพัฒนางานวิจัย มุ่งสู่สายการผลิตอย่างมีคุณภาพ

สืบเนื่องจากผลการเก็บข้อมูลการใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet ของเรือ PBR นั้น พบว่า ระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet ที่ผลิตจากอะลูมิเนียมโดยกรมอู่ทหารเรือ มีอายุการใช้งานน้อยกว่าจากต่างประเทศ เพียงแค่ไม่ถึง ๒,๐๐๐ ชั่วโมงหรือประมาณ ๒ ปี ซึ่งต่ำกว่าระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet ที่นำเข้าจากต่างประเทศที่อ้างไว้ ๓,๕๐๐ ชั่วโมง[๑๐] ทำให้การปฏิบัติภารกิจของ นรข. มีความเสี่ยงทางยุทธการและเป็นภาระงานที่มากยิ่งขึ้นต่อหน่วยซ่อมทำ ปัจจุบัน อร. ได้ดำเนินการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการจัดหาจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น และผลิตชิ้นส่วนที่ชำรุดสำรองคลังมากขึ้นทุกปี ดังรูปที่ ทั้งนี้โดยมีการส่งซ่อมปีหนึ่งไม่ต่ำกว่า ๑๐ เครื่อง อีกทั้งส่งเจ้าหน้าที่ไปประจำการที่ นรข. สำหรับรองรับการสับเปลี่ยนและซ่อมทำกรณีฉุกเฉินเพื่อลดความเสี่ยงทางยุทธการ ดังรูปที่ ๑๑



รูปที่ ๑๑ ระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet Jacuzzi ๑๔YJ ที่ผลิตโดยกรมอู่ทหารเรือ

ลักษณะการสึกหรอของส่วนประกอบในระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet ที่ตรวจพบเกิดจากชนด้วยของเหลวและอนุภาคของแข็งในของเหลว (Slurry Erosion) ความดันจากความเร็วน้ำมีค่าสูงมากจนเกิน จุดคราก (Yield Strength) และเมื่อมีการตกกระทบซ้ำๆ จึงเกิดการสึกหรอ โดยผิวของวัสดุที่เสียหายจะมีลักษณะเป็นหลุม เป็นรอยหยักและมียอดคล้ายฟันเลื่อย นอกจากนี้มีลักษณะการกัดกร่อนร่วมด้วย (Erosion-Corrosion) ทำให้การสึกหรอมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ ๑๒

รูปที่ ๑๒ ลักษณะการสึกหร่อของส่วนประกอบระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet

การสร้างแบบชิ้นงาน

ทีมวิจัยฯ กรมอู่ทหารเรือได้ดำเนินการสร้างแบบปรับปรุงแบบชิ้นส่วนของ Waterjet เนื่องจากเราไม่มีแบบที่นำมาใช้งานในกระบวนการแม่พิมพ์หล่อ งานกลึง และงานประกอบ ดังนั้นกระบวนการที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือการทำ 3D-SCAN โดยมีขั้นตอนสำคัญ อาทิเช่น การกำหนดจุดอ้างอิง (Grid Point) บนผิวของชิ้นงานต้นแบบ เพื่อให้ Laser Scanner สามารถอ้างอิงเซตของจุดในระบบคอร์ออดิเนตในลักษณะ ๓ มิติได้ ดังแสดงในรูปที่ ๓.๔ โดยปกติความสัมพันธ์ในระบบพิกัดของXYZจะถูกใช้เป็นตัวแทนของพื้นผิวภายนอกของวัตถุเพื่อสร้างกลุ่มเมฆจุด (Point Cloud) ก่อนที่กลุ่มเมฆจุดจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของแบบจำลองพื้นผิว (Surface Model) ในลักษณะแบบจำลองโครงข่าย (Mesh Model) เพื่อที่จะนำแบบจำลองพื้นผิวดังกล่าวที่ได้ไปขึ้นแบบ (Drawing) เพื่อใช้ในการผลิตหรือเปรียบเทียบต่อไป การดำเนินการดังรูปที่ ๑๓

รูปที่ ๑๓ กระบวนการทำ 3D-SCAN เพื่อสร้างแบบชิ้นส่วนของระบบ Waterjet

ในระบบขับเคลื่อนแบบ Waterjet พบว่ามีชิ้นส่วนที่เกิดชำรุดเสียหายบ่อยครั้งโดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ผลิตจากอลูมิเนียม คณะทำงานวิจัยฯ กรมอู่ทหารเรือ ได้ดำเนินการปรับปรุงในด้านวัสดุให้เป็นไปตามเอกสารประจำเครื่องที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้[๑๑] และให้มีกระบวนการอบชุบโลหะโดยให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASM (American Society of Metals) A๓๕๖T๖ ซึ่งตามมาตรฐานได้กำหนดส่วนผสมทางเคมี เป็นไปตามตารางที่ ๒

Si(%)	Al(%)	Mn(%)	Ti(%)	Fe(%)	Zn(%)	Cu(%)	Mg(%)
6.5–7.5	≥80	≤0.1	≤0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.2	0.25–0.45

ตารางที่ ๒ ส่วนผสมทางเคมีของ A๓๕๖ ตามมาตรฐาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)[๑๒]

การดำเนินการในด้านงานหล่อเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งจะต้องควบคุมส่วนผสมให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว จำเป็นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและชำนาญของบุคลากร สำหรับงานหล่อชิ้นส่วน Waterjet เป็นวัสดุกลุ่มอลูมิเนียม ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดฟิล์มออกไซน์ได้ง่าย โดยในขณะการเทหล่อนั้นหากเกิดการไหลแบบปั่นป่วนจะทำเกิดให้ฟิล์มออกไซด์ที่ผิวหน้าของโลหะเหลวเกิดการม้วนทับ (fold) เข้าไปในเนื้อโลหะเหลว ฟิล์มออกไซด์ที่ถูกม้วนทับไปนี้จะกลายเป็นแหล่งกำเนิดของรูพรุน (pore nucleation site) ได้[๑๓]

การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการหล่อ คณะวิจัยได้นำเทคนิคต่าง ๆ มามากมายมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ การใช้เทคนิคการเติมสารปรับสภาพเกรนละเอียด เพื่อปรับโครงสร้างซึ่งจะส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น การติดตั้งฟิลเตอร์ทางเข้าน้ำโลหะเพื่อกรองสิ่งสกปรกและลดการเกิดการไหลแบบปั่นป่วน การนำทุ่นเย็น (Chill) เพื่อแก้ปัญหาการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) และการควบคุมอุณหภูมิและความเร็วในขณะเท เป็นต้น ดังรูปที่ ๑๔ ผลการดำเนินการพบว่าสามารถแก้ไขการเกิดรูพรุนได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิม ลดปัญหาการทำงานซ้ำซ้อนได้เป็นอย่างมาก

รูปที่ ๑๔ กระบวนการเทหล่อชิ้นงานอลูมิเนียมของชิ้นส่วนระบบ Waterjet

ส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ คือกระบวนการอบชุบทางความร้อน (Heat Treatment) ที่ได้กำหนดไว้ใน ASM โดยระบุให้เป็น T๖ นั้นคือการการทำ Solution Heat Treatment , Quenching แล้วทำ Artificially Aged ซึ่งกระบวนนี้มีจะมีความสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุวัตถุประสงค์ เพื่อให้มีความอ่อนตัวสูง ขึ้นรูปได้ง่าย มีความแข็งสูง เพื่อทนการเสียดสี มีความเหนียว สามารถใช้งานที่มีแรงกระแทกและบิดตัวสูงได้ การดำเนินการจะเป็นการอบชิ้นงานในเตาอบที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด และเงื่อนไขการเย็นตัว ทางทีมวิจัยได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASM โดยวัสดุเป็น A๓๕๖T๖ ดังรูปที่ ๑๕

รูปที่ ๑๕ การอบชุบทางความร้อน (heat treatment) ชิ้นส่วนอลูมิเนียมของระบบ Waterjet

บทสรุป

เรือซึ่งใช้ระบบขับเคลื่อน Waterjet มีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถแล่นในน้ำตื้นได้ มีความคล่องตัวสูง สามารถหยุดฉุกเฉินได้ และมีความปลอดภัยสูง มีประสิทธิภาพสูงที่ความเร็วสูง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้กองทัพเรือจึงใช้ระบบขับเคลื่อนเรือชนิดนี้ในเรือตรวจการณ์ลำน้ำปฏิบัติหน้าที่อยู่ตามชายฝั่งแม่น้ำ เพื่อดูแลรักษาความมั่นคงของประเทศ จากการลักลอบกระทำผิดกฎหมาย และปัจจุบันมีการนำระบบขับเคลื่อน Waterjetมาใช้งานกับภารกิจในกองทัพเรือมากขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าระบบขับเคลื่อนWaterjet ที่ใช้งานมีความหลากหลาย มีการพัฒนารูปแบบและเทคโนยีที่สูงขึ้น กรมอู่ทหารเรือ ในฐานะหน่วยซ่อมหลักของกองทัพเรือ จึงให้ความสำคัญ มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบขับเคลื่อน Waterjet มาโดยตลอด จึงเกิดเป็นโครงการวิจัยและพัฒนาต่าง ๆ มาต่อเนื่อง ผลการดำเนินการที่เกิดขึ้น ส่งผลให้บุคลากรของหน่วยงานมีองค์ความรู้พัฒนาต่อยอด ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้สามารถใช้งานได้อย่างคุ้มค่าและประหยัดงบประมาณในการซ่อมบำรุง อีกทั้งภายใต้การพัฒนาในรูปแบบงานวิจัยนั้น จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเรือในประเทศได้โดยผ่านการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการร่วมมือทางวิชาการเพื่อขยายผลในเชิงพานิชย์ได้

เอกสารอ้างอิง

[๑]http://www.marinewiki.org/index.php/Waterjet_propulsion#History (๑๕ ต.ค.๖๒)

[๒]https://www.nauticexpo.com/prod/hamilton-jet/product-๒๑๖๑๐-๒๔๒๙๕๗.html (๑๕ ต.ค.๖๒)

[๑]http://www.marinewiki.org/index.php/Waterjet_propulsion#History (๑๕ ต.ค.๖๒)

[๒]https://www.nauticexpo.com/prod/hamilton-jet/product-๒๑๖๑๐-๒๔๒๙๕๗.html (๑๕ ต.ค.๖๒)

[๕]ที่มา : http://www.hamjet.co.nz/index.cfm/

[๖]ร.อ. ดร.ชลัมพ์ โสมาภา ร.น., น.อ.ดร.สมัย ใจอินทร์ ร.น., (2551) ,โครงการวิจัยและพัฒนาสร้างต้นแบบเรือตรวจการณ์ลำน้ำขนาดเล็กขับเคลื่อนด้วยเครื่องพ่นน้ำ, เอกสารวิจัย สวพ.กห. ระหว่างปี งบประมาณ 2548-2551 โดยกรมอู่ทหารเรือเป็นหน่วยเจ้าของโครงการ

[๗]J.L.Roberts, P.A.Brandner, G.J.Walker, "Higher Performance CFD, Optimising Waterjet Intake Performance" School of Engineering, University of Tasmania

[๘]ดร.ยอดชาย เตียเปี้น. (2553). การศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาชุดขับเคลื่อน Waterjet เหมาะสำหรับเรือความเร็วสูง. เอกสารวิจัยวิทยาลัยพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

[๙]เอกสารการจัดการความรู้ อธบ.อร. ประจำปี ๒๕๕๔

[๑๐]ที่มา : เอกสารประจำเครื่อง Technical Information Jacuzzi Marine Jet ๑๔YJ

[๑๑]ที่มา : เอกสารประจำเครื่อง Technical Information Jacuzzi Marine Jet ๑๔YJ

[๑๒]ASM HANDBOOK Volume๒ Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Metarial , Page ๒๓

[๑๓]ดร.สมบูรณ์ โอตรวรรณะ, (๒๕๕๕), บทความทางวิชาการ เรื่อง การหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมผสม (Shape Casting of Aluminium Alloys) โดย ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ หน่วยวิจัยการออกแบบและวิศวกรรม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

กระบวนการควบคุมความแม่นยำ
(Accuracy Control Procedures) ในการสร้างเรือ

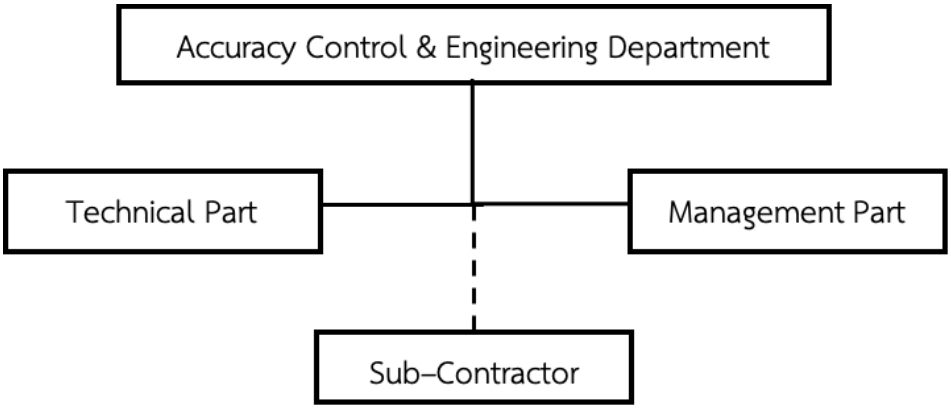
นาวาเอก บุญร่วม ดารายุ
หัวหน้า แผนกการโรงงาน กองบริหารงานซ่อมสร้าง อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ

Accuracy Control Procedure เป็นเรื่องที่น่าสนใจ และยังใหม่สำหรับการสร้างเรือของกรมอู่ทหารเรือ ซึ่งปกติจะมีเฉพาะ Quality Control (QC) แต่ยังไม่มี Accuracy Control ที่ชัดเจนอย่างเป็นทางการ ในการควบคุมกระบวนการในการสร้างเรือ และนอกจากนี้ยังอาจนำมาใช้เป็นแนวคิดในการนำไปขยายผลเพิ่มเติม เพื่อที่จะทำให้การสร้างเรือของกรมอู่ทหารเรือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งทำให้ประหยัดงบประมาณและลดระยะเวลาในการดำเนินการสร้างเรือลงได้ ในรายละเอียดจะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ กระบวนการและแนวคิดเบื้องต้นของ Accuracy Control, Accuracy Check Sheet, Pending Welding, Painting Masking และ Block Assembly Accuracy Control โดยจะเป็นการแนะนำพอสังเขป ตามที่ได้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี จากบริษัท Daewoo Shipbuilding & Engineering (DSME) ดังนี้

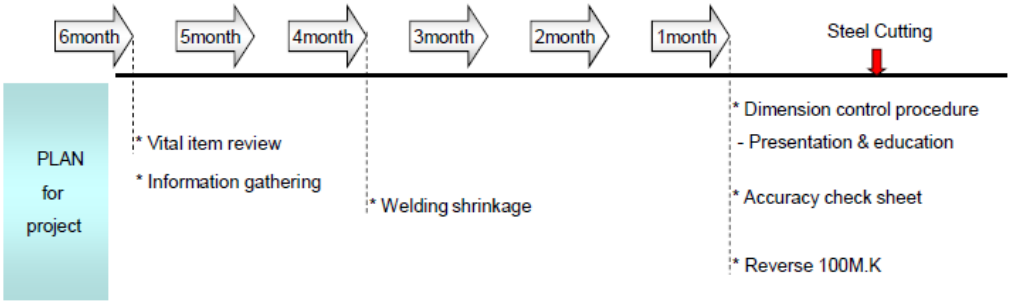
กระบวนการควบคุมความแม่นยำ Accuracy Control Procedures

การสร้างเรือของบริษัท Daewoo Shipbuilding & Engineering (DSME) กระบวนการควบคุมความแม่นยำ (Accuracy Control Procedures) เป็นงานด้านวิศวกรรมอีกแขนงหนึ่งที่จัดทำโดย Accuracy Control & Engineering Department (AC&ED) ซึ่งสังกัดอยู่ภายใต้ Ship Production Division เหมือนกับ Production Engineering Department ที่จัดทำ Block Division, Erection Sequence, Zone Division และ Lifting & Transportation Engineering Department ที่จัดทำ Lifting & Transportation Plan

โดย AC & ED จะประกอบด้วยหน่วยงานภายในสองแผนกคือ Technical Part และ Management Part และมีการจ้าง Sub–Contractor สำหรับงาน บางประเภทเป็นการเฉพาะอีกด้วย



รูปที่ ๑ แผนผังโครงสร้างของ Accuracy Control & Engineering Department



รูปที่ ๒ Flow Chart ของงานในส่วนของ Accuracy Control Engineering Department

งานของ Accuracy Control & Engineering Department ในการสร้างเรือ

Accuracy Control มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้มิติต่าง ๆ สำหรับโครงการต่อเรือ มีความถูกต้อง แม่นยำตามที่ต้องการ เพื่อให้ประสบความสำเร็จในทุกขั้นตอนของการสร้างตัวเรือ โดยจะเริ่มดำเนินการปฏิบัติงานประมาณ ๖ เดือนก่อนเริ่มตัดแผ่นเหล็ก (Steel Cutting : S/C) เริ่มจากการรวบรวมข้อมูล และกำหนด Vital Item (สำหรับ ร.ล.ภูมิพลอดุลยเดช Vital Item คือ Weapon Foundation และ Propulsion System Foundation) ซึ่งข้อมูลสำคัญที่จะต้องได้มาประกอบด้วย

๑. Key Plan

๒. Welding Shrinkage

๓. Block Division

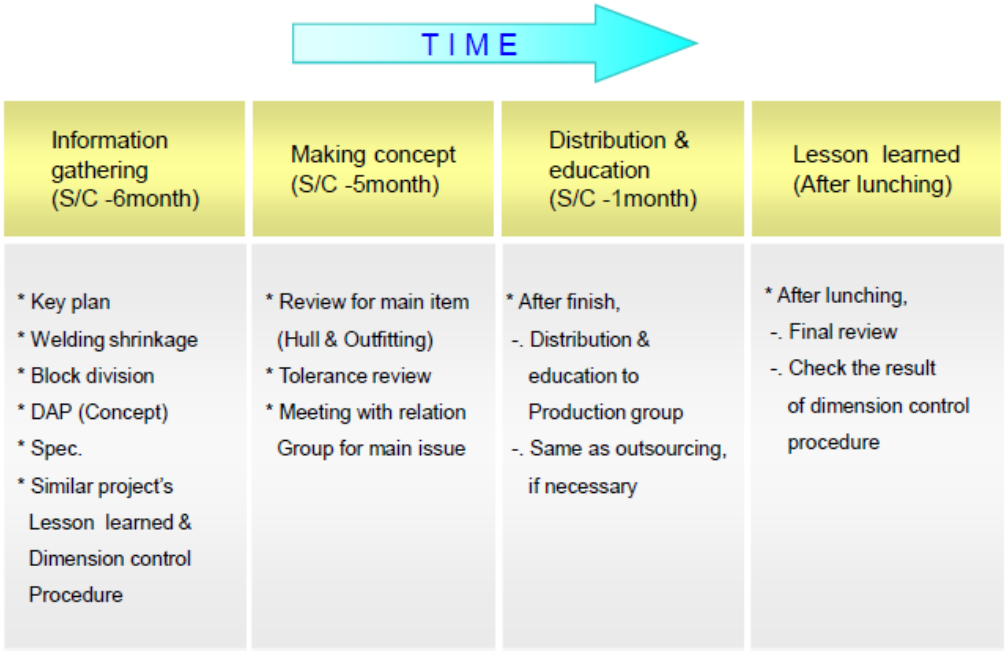
๔. Detail Assembly Process (D.A.P) ของแต่ละ Block

๕. Specification ของอุปกรณ์สำคัญต่าง ๆ

๖. ข้อมูลประสบการณ์ (Lesson Learn) จากการสร้างเรือที่มีขนาดเดียวกันก่อนหน้านี้

หลังจากนั้นภายใน ๑ เดือน (๕ เดือนก่อน S/C) ทาง Accuracy Control & Engineering Department จะต้องได้แนวความคิด (Concept) ในการควบคุมมิติของการสร้าง Block เพื่อหารือร่วมกับหน่วยที่เกี่ยวข้อง และเมื่อได้ข้อสรุปจากการหารือแล้ว Accuracy Control & Engineering Department จะต้องไปจัดทำเอกสาร Welding Shrinkage Drawing ให้แล้วเสร็จภายใน ๑ เดือน (๔ เดือนก่อน S/C) และจัดทำ Accuracy Check Sheet รวมทั้งแจ้งให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบถึงกระบวนการควบคุมมิติในการสร้าง Block แต่ละ Block (Dimensional Control Procedure) และอาจจะต้องทำการฝึกอบรมให้กับเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานภายนอกที่ DSME ว่าจ้างให้สร้าง Block ด้วย DSME ว่าจ้างบริษัทภายนอกในการสร้าง Block ประเภทที่ตนเองไม่ชำนาญ และ Block ที่บริษัทอาจจะไม่สามารถปฏิบัติได้ทันเวลา เช่นการสร้าง Block ในส่วนของ Superstructure ของ ร.ล.ภูมิพลอดุลยเดช เป็นต้น เพื่อให้ทุกส่วนทราบแนวทางปฏิบัติเดียวกันภายใน ๑ เดือนก่อนเริ่มตัดแผ่นเหล็ก (S/C)

ภายหลังจากที่โครงการแต่ละโครงการแล้วเสร็จ Accuracy Control & Engineering Department จะต้องทำการทบทวนและประเมินผลงานที่ได้ปฏิบัติในการควบคุมมิติในการสร้าง Block เพื่อจัดทำ Lesson Learn สำหรับใช้ในการปฏิบัติงานสร้างเรือลำต่อ ๆ ไป ทั้งนี้ จากการนำเสนอของ DSME พบว่าการทบทวนและประเมินผลงานของ DSME นี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานและลดค่าใช้จ่ายได้อย่างเป็นรูปธรรม เช่น การสร้าง Block ของเรือ LNG ซึ่งมีโครงการสร้าง จำนวน ๑๕ ลำ พบว่า Block ในลำที่ ๒ – ๑๕ เมื่อนำบทเรียนจากการสร้างครั้งแรกไปปรับปรุงการปฏิบัติงานแล้วจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก (ประมาณสองร้อยเจ็ดสิบล้านวอน หรือประมาณแปดล้านห้าแสนบาทถ้วน (ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจและควรนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานของกองทัพเรือ เป็นอย่างมาก



รูป ๓ งานที่ต้องดำเนินการในช่วงเวลา (Stage) ต่าง ๆ ขณะสร้างเรือ

หลักการปฏิบัติงานของ Accuracy Control Procedures ใช้หลักการ Plan – Do – Check – Action (PDCA) ในการทำงาน ดังนี้

Plan – เป็นการวางแผนการปฏิบัติว่าในแต่ละช่วงเวลาจะต้องได้ผลงานปฏิบัติงานอะไรบ้าง

Do – เป็นการลงมือปฏิบัติของแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้องว่าจะต้องทำอะไรบ้างในแต่ละช่วงของการสร้าง เช่น ช่วงการตัดแผ่นเหล็กจะต้องควบคุมการทำงานและการซ่อมบำรุงเครื่องตัดให้สามารถตัดแผ่นเหล็กให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ หรือในช่วงการประกอบชิ้นส่วนย่อย (Sub–Block Assembly) จะต้องตรวจวัดขนาดจาก Reference Line เพื่อตรวจสอบการ Deformation หรือ Shrinkage ที่เกิดขึ้นด้วย

Check – เป็นการตรวจสอบมิติของ Block ต่าง ๆ ตาม Accuracy Check Sheet ของหน่วยต่าง ๆ

โดยการบันทึกข้อมูลเบื้องต้นเป็นหน้าที่ของคนงาน (Worker) และหัวหน้างาน (Foreman) ในส่วนของ Production Department จากนั้นจะมีการตรวจสอบผลการบันทึก ซึ่งเป็นหน้าที่ของ Dimensional Control Engineer ในส่วนของ Production Department จากนั้นเมื่อ Production Department บันทึกข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วก็จะส่งให้กับ Accuracy Control & Engineering Department เพื่อตรวจสอบครั้งสุดท้ายอีกครั้ง

Action – เป็นการตรวจสอบการตรวจวัดมิติต่าง ๆ จากการสร้าง Block ที่เกิดขึ้น และวิเคราะห์ผลงานการสร้าง Block ของฝ่ายสร้าง ว่ามีข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดความผิดพลาดอย่างไร และจัดทำบทเรียน (ด้านมิติ) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการสร้างเรือครั้งต่อไป

เอกสารที่ต้องจัดทำในการสร้างเรือของ Accuracy Control & Engineering Department

ในขบวนการสร้างเรือแต่ละโครงการของ DSME ที่เกิดขึ้น AC & ED มีงานเอกสารที่ต้องดำเนินการจำนวน ๕ งาน ได้แก่

๑) Welding Shrinkage Drawing

๒) Reverse ๑๐๐/๕๐ Mark Line

๓) Accuracy Check Sheet

๔) Pending Weld ของแต่ละ Block

๕) Painting Marking ของแต่ละ Block

ทั้งนี้เอกสารต่าง ๆ มีข้อสังเกต ดังนี้

Welding Shrinkage Drawing

เป็นเอกสารที่จะแสดงให้ฝ่ายสร้างทราบว่าในการเชื่อม Block แต่ละ Block เข้าด้วยกันตามขบวนการเชื่อมจะเกิดการหดตัวของแผ่นเหล็กบริเวณที่เชื่อมไปเท่าไร ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อการออกแบบตัดแผ่นเหล็ก การควบคุมคุณภาพการเชื่อม และการควบคุมมิติของ Block ภายหลังการเชื่อม จากการสอบถามพบว่า DSME มีข้อมูลความรู้ที่ได้จากการสะสมประสบการณ์ในการสร้างเรือมาอย่างต่อเนื่อง จนได้ข้อมูลการหดตัวของแผ่นเหล็กขนาดความหนาต่าง ๆ ที่เกิดจากการเชื่อม และได้รวบรวมไว้เป็นเอกสาร (Welding Shrinkage Manual) สำหรับใช้งานภายในบริษัท ตลอดจน DSME ยังมีข้อมูลที่ได้จากการสร้างเรือประเภทเดียวกันมาประกอบในการจัดทำอีกด้วย เช่น เรือฟริเกตของ ทร. ไทย จะได้ข้อมูลจากการสร้างเรือฟริเกตของ ทร. เกาหลีใต้ ซึ่งกำลังดำเนินการสร้างอยู่ในขณะนั้น มาเป็นข้อมูลประกอบเพื่อ Update ข้อมูลอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เอกสาร Welding Shrinkage Manual นี้เป็นเอกสารภายในของ DSME และไม่อนุญาตให้ทำการคัดลอกหรือถ่ายรูป

เอกสาร Welding Shrinkage Drawing จะเริ่มต้นการจัดทำโดยใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

- เอกสาร Block Division ที่ทาง Production Engineering Department เป็นผู้จัดทำ
- เอกสาร Detail Assembly Procedure (D.A.P) เพื่อตรวจสอบว่าการประกอบชิ้นส่วน (Component) ในแต่ละช่วงใช้การเชื่อม (Welding) แบบใด
- เอกสาร Hull Structure Design Drawing เพื่อตรวจสอบว่าแผ่นเหล็กที่ใช้ในแต่ละช่วงของโครงสร้างเรือมีขนาดอย่างไร มีการออกแบบ Spacing ระหว่าง Girder เท่าไร Shell Thickness ของแต่ละ Block เป็นอย่างไร ฯลฯ
- Specification ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จะติดตั้งในแต่ละ Block

โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาเพื่อจัดทำ Welding Shrinkage Drawing เพื่อให้ข้อมูลความเป็นไปได้ ในการหดตัวของแผ่นเหล็กในช่วงการสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนเพื่อการสร้าง Block แต่ละ Block การประกอบเรือ (Erection) เรือทั้งลำต่อไป

Symbol	Sign	Apply to
L.S=n/m	Spread expansion shrinkage	Plate / Longi.
nA ▽	Assembly shrinkage	Plate / Bracket
nT ▽	Taper shrinkage	Plate / Bracket
nP.E(P/L) ▽	Pre-erection shrinkage	Plate / Bracket
nE(P/L) ▽	Erection shrinkage	Plate / Bracket

รูป ๔ Erection Shrinkage Symbol

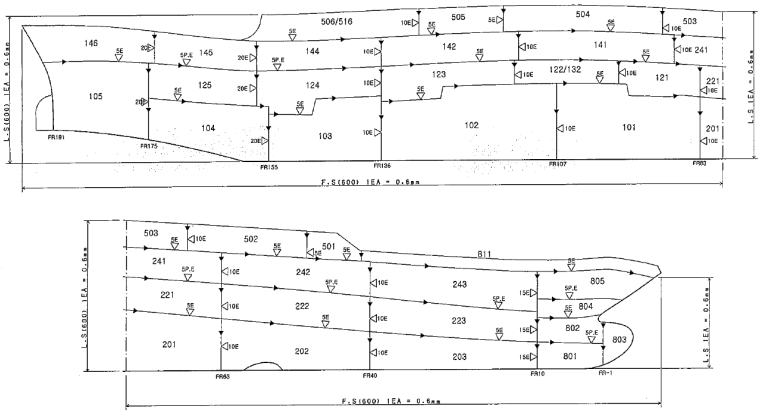
ข้อสังเกต

• ค่า Welding Shrinkage ของ DSME จะอยู่ระหว่าง ๐.๔ – ๐.๘ มม. สำหรับโครงสร้างที่เป็นเหล็ก ทั้งนี้ในบางตำแหน่งถึงแม้จะเป็นเหล็กขนาดเดียวกันก็จะมีค่า Welding Shrinkage ไม่เท่ากัน

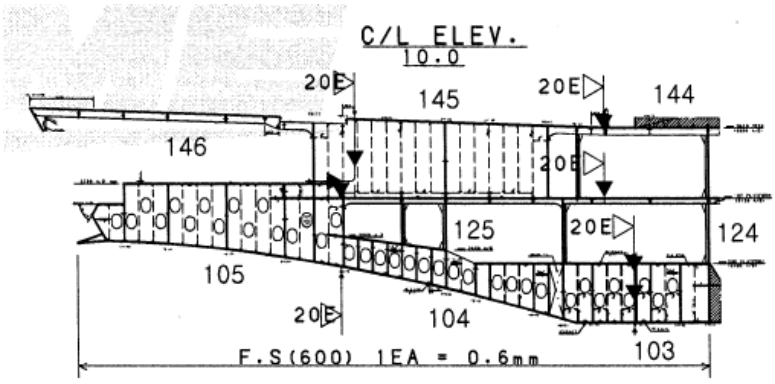
• Side Wall Elevation ของเสากระโดงให้ค่า Welding Shrinkage ไว้เพียง ๐.๒ มม. อาจจะเป็นเพราะใช้วัสดุอลูมิเนียม

• จากการอบรมพบว่า DSME ยอมให้มีค่า Tolerance ของ Foundation ได้ที่ +/– ๕ มม. ทั้ง Dimension และ Level ในการตรวจสอบและบันทึกผลใน Accuracy Check Sheet

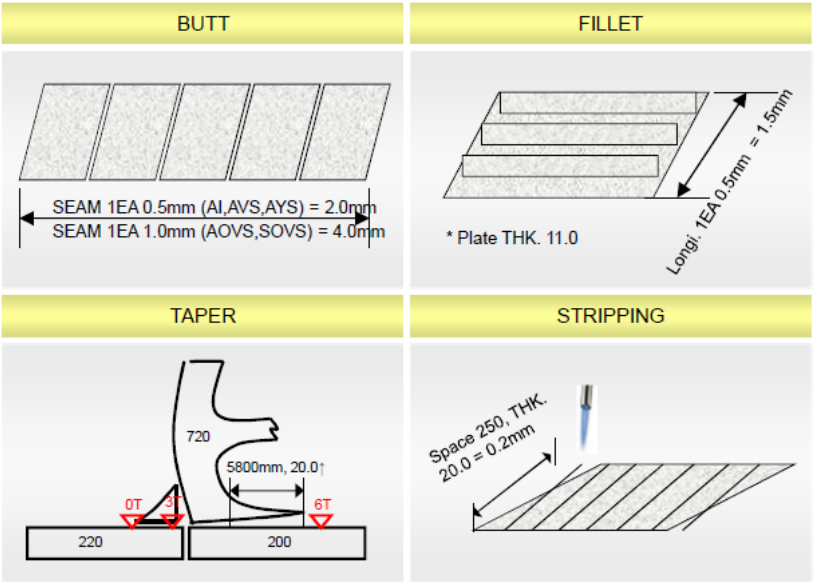
• DSME มีเอกสาร Welding Shrinkage Manual สำหรับใช้ภายในบริษัท โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสร้างเรือที่ผ่านมา ทางคณะรับการถ่ายทอด ฯ ได้ร้องขอเอกสารดังกล่าวมาเพื่อทำการศึกษา แต่บริษัท DSME ปฏิเสธที่จะให้ โดยอ้างว่าเป็นความลับของทางบริษัท อย่างไรก็ตามหากมีหลักสูตรอื่น ๆ ที่จะต้องเกี่ยวข้องกับการเชื่อม ก็ควรที่จะหาโอกาสศึกษาเอกสารดังกล่าวด้วย



รูป ๕ Shell Expansion Shrinkage Drawing



รูป ๖ Welding Shrinkage Drawing ของ Block ๑๐๓, ๑๐๔ และ ๑๐๕



รูป ๗ Typ of Shrinkage ของ DSME

Reverse ๑๐๐/๕๐ Mark Line

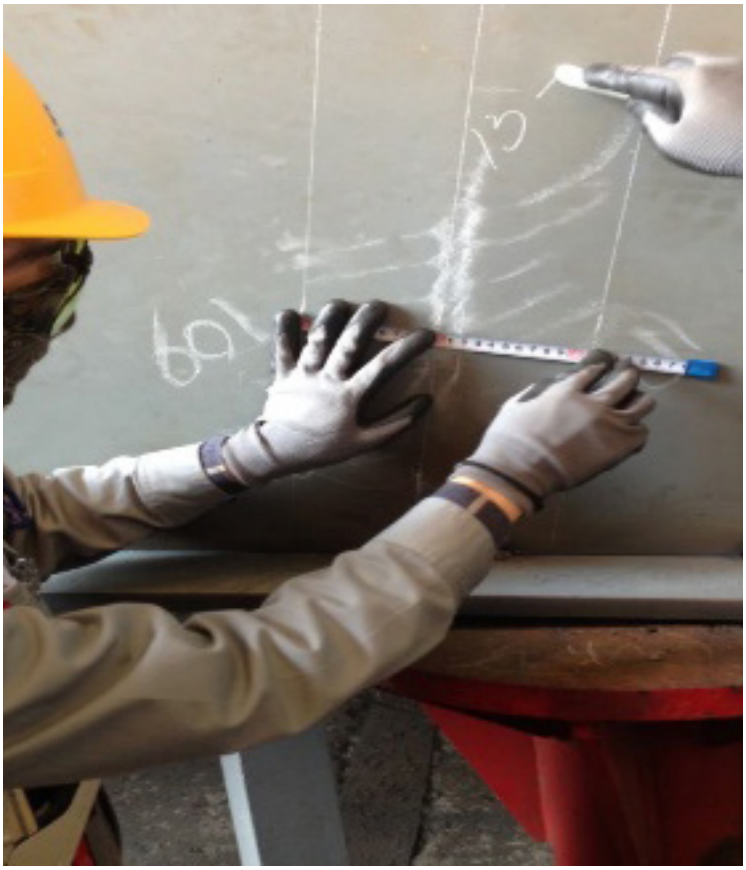
เป็นเส้นที่ใช้สำหรับควบคุมแนว (Alignment) ในการเชื่อมประกอบ Block สอง Block เข้าด้วยกัน โดย DSME กำหนดให้ลากเส้น Reverse ๑๐๐/๕๐ Mark Line ขนานไปกับ Mold Line สำหรับเชื่อมแผ่น Stiffener/Longitudinal Girder บนแผ่น Plate โดยการ Mark เส้น ๑๐๐ Line จะกระทำทั้งสองด้าน ทั้งนี้เส้นเชื่อมทั้งด้านหน้าและหลัง Reverse ๑๐๐ Mark Line จะมีประโยชน์สำหรับ

๑) วัดแนว (Alignment) ของการเชื่อมแผ่น Stiffener/Longitudinal Girder ว่าได้แนวหรือไม่

๒) ใช้สำหรับเป็นแนวสำหรับการเชื่อมแผ่น Stiffener/Longitudinal Girder ของ Block ที่จะมาเชื่อมต่อกับแผ่นแรกว่า Mold Line อยู่ที่ใด

จากการเดินตรวจสอบในโรงงานร่วมกับผู้สอนพบว่าการ Mark แนวเหล่านี้ DSME ใช้เครื่อง Automatic Marking Machine ในโรงงานสร้าง Block ในการดำเนินการ โดยจะมีการตรวจสอบความถูกต้องของการ Mark ก่อนการเชื่อม

รูป ๙ การวัด Mold Line และ ๑๐๐ MK Line



รูป ๘ Mold Line และ ๑๐๐ MK Line

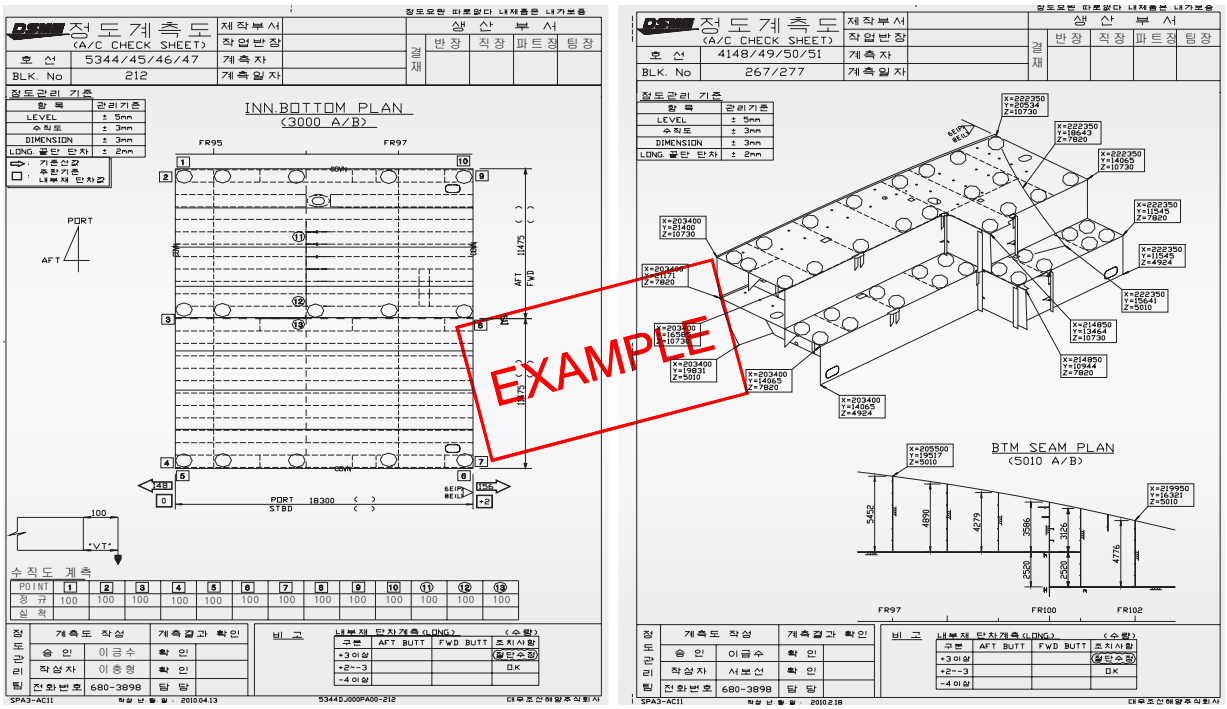
Accuracy Check Sheet

เป็นเอกสารที่ใช้สำหรับตรวจสอบมิติของ Sub–Block Assembly หรือ Block ว่ามีมิติถูกต้อง ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ มีระดับ (Level) เป็นอย่างไร ทั้งนี้เอกสาร Accuracy Check Sheet จะจัดทำในรูปของ 2D และ 3D Drawing และกำหนดจุดสำหรับการตรวจวัดไว้ให้ผู้วัดได้ดำเนินการ

โดยเอกสาร Accuracy Check Sheet จะมีค่ามาตรฐาน (ค่าออกแบบ) กำหนดไว้เป็นข้อมูลอ้างอิง รวมทั้งค่า Tolerance ที่ยอมรับ ได้กำหนดไว้ด้วย ทั้งนี้ในการตรวจวัด ผู้ตรวจวัดจะต้องลงข้อมูลของเครื่องมือที่ตรวจวัดสำหรับการสอบกลับ (Tractability) ด้วย โดยผู้สร้าง Block ต่าง ๆ (Production Department – Block Assembly Shop) จะเป็นผู้บันทึกผล DSME เรียกว่า Production Accuracy Control และเมื่อบันทึกผลแล้วเสร็จจะส่ง Accuracy Check Sheet มายัง Accuracy Control & Engineering Department (AC&ED) เพื่อทำการรวบรวม วิเคราะห์ผล และตรวจสอบความถูกต้องต่อไป ทั้งนี้การตรวจวัดในแต่ละช่วงเวลาของการสร้างเรือ (Building Stage) จะมีข้อมูลสำคัญที่ต้องบันทึกดังนี้

	Contents		
Information Gathering	Off–set, block division, D.A.P, accuracy control procedure, done project's accuracy check sheet, assembly drawing		
Vital Point	Assembly	Pre-erection	Erection
	- Fore/aft block butt half breath -Breath, height, level, verticality, diagonal -Block under seam half breath -Longi. misalignment	- Deck level, breath, height, level, verticality, diagonal - Block butt section agreement - Bottom seam half breath - Shaft/Ladder centering - Over head crane, hatch DIM.	

รูป ๑๐ Vital Point ในการบันทึกค่าในแต่ละ stage ของ Accuracy Check Sheet



รูป ๑๑ Accuracy Check Sheet

Pending Weld

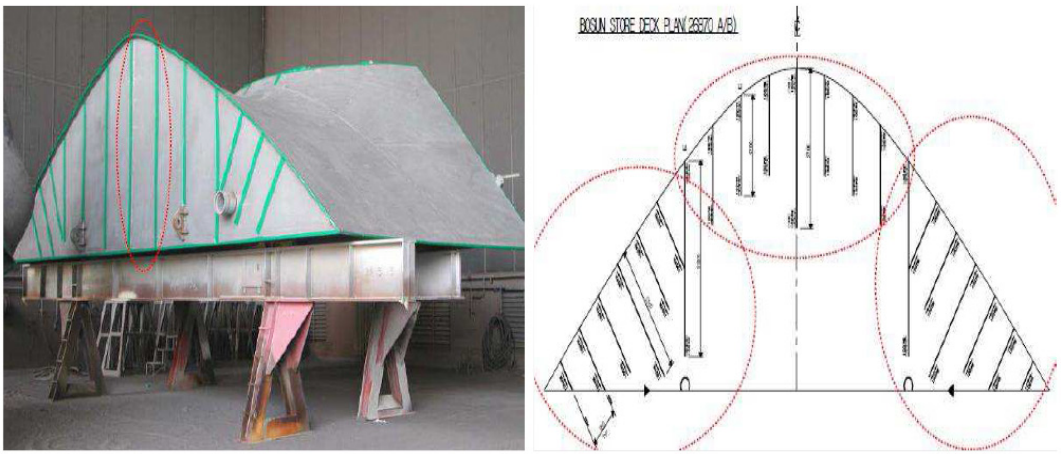
เป็นการกำหนดว่าแผ่น Longitudinal/Transverse Stiffener จะปล่อยระยะห่างด้านปลายแผ่นที่ไม่ต้องเชื่อม (Pending Weld) ไว้สำหรับการปรับแต่งในขั้นตอนของการ Pre–Erection หรือ Erection ของ Block ไว้เท่าไร DSME ได้กำหนดค่าไว้ใช้เป็นมาตรฐานดังนี้

Area	Length	Position
Longitudinal	300mm	All scallop (40R) area
	300mm	No scallop (40V,60V) area
	600mm	E.R BHD & F.P butt joint
Breath	300mm	All area except special area
Height	300mm	All area except special area
	600mm	B#100/200/600/800 S/SHELL web frame

รูป ๑๒ DSME Pending Weld Standard

Painting Masking

เป็นการกำหนดให้โรงงาน Blasting & Painting ทราบว่าจะมีแนวเชื่อมอยู่บริเวณใดเพื่อที่จะได้ทำการติดแถบป้องกันในขั้นตอนการทำสี



รูป ๑๓ การทำ Painting Masking

Block Assembly Accuracy Control

- แบ่งเป็นสามช่วงคือ Sub–Assembly, Unit Assembly และ Grand Assembly
- ช่วง Sub – Assembly จะตรวจสอบมิติ และ Alignment
- ช่วง Unit Assembly จะตรวจสอบ Shrinkage, Level, Dimension, Tolerance
- ช่วง Grand Assembly จะตรวจสอบทั้งหมด

การตรวจสอบ Block Assembly Accuracy Control เป็นงานหลักที่ใช้การตรวจสอบด้วยอุปกรณ์หลักของ DSME คือกล้องหาระดับ (Level Measurement) และกล้อง Total Station

รูป ๑๕ กล้องหาระดับ (Automatic Leveling)

รูป ๑๖ Total Station

รูป ๑๔ การตรวจสอบ Block Assembly ในโรงงาน

MARSUN

SHIP BUILDER & REPAIRER SINCE 1980

เรือตรวจการณ์ลำน้ำ ความยาว 10 ม.

เรือปฏิบัติการความเร็วสูง ความยาว 18.30 ม.

เรือตรวจการณ์ชายฝั่ง ความยาว 21 ม.

เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง ชุดเรือ ต.111 ความยาว 36 ม.

เรือตรวจการณ์ปืน รล.แหลมสิงห์ ความยาว 58 ม.

เรือตรวจการณ์ตำรวจน้ำ ความยาว 23 ม.

เรือส่งกำลังบำรุงขนาดเล็ก รล.มัตโพน-ราวี ความยาว 55 ม.

เรือบริการฐานขุดเจาะน้ำมัน ความยาว 36 ม.

MARSUN PUBLIC COMPANY LIMITED

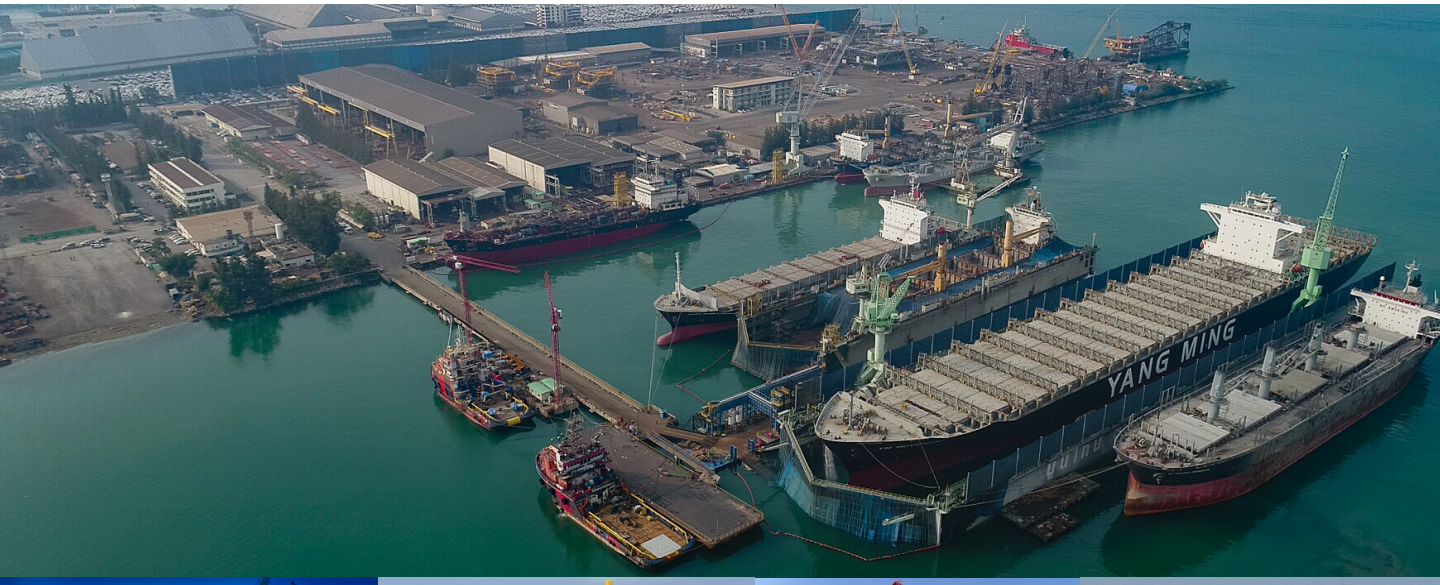
413 Moo 4, Soi Sitthichai, Taiban Rd, Taiban, Muangsamutprakan, Samutprakan 10280

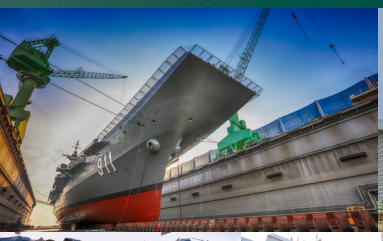
Tel : +66(0)2173-8942-51 Fax : +66(0)2173-8949 E-mail : contact@marsun.th.com

WWW.MARSUN.TH.COM

Unithai Shipyard and Engineering Limited
Laem Chabang Port Industrial Estates
48 Moo 3, Tambon Tungsukhla, Sriracha District
Chonburi, 20230, Thailand
Tel: 66 (0) 3840 7000
Fax: 66 (0) 3840 7009
Email: shipyard.mktg@unithai.com

UNITHAI
Shipyard and Engineering





The Largest Shipyard in Thailand

Unithai Shipyard and Engineering operates the largest shipyard in Thailand. The 693,000 square metre site is located in the deep-sea port of Laem Chabang, which is at the heart of Thailand's chemical and oil tanker, container, dry bulk, car and offshore trade. In addition, at within 2 days sailing from Singapore, minimal deviation is required for vessels to reach our yard.

Unithai Shipyard exists to provide quality ship repair, modification, conversion, shipbuilding and offshore fabrication services to shipowners worldwide. Unithai works closely and in partnership with owners to determine their needs and to satisfy their requirements on safety quality and time at competitive costs.

www.unithai.com

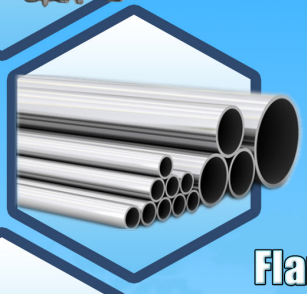
ROJPAIBOON EQUIPMENT CO.,LTD.

ISO9001:2015 Certified

www.rojpaiboon.co.th
Email : inform1@rojpaiboon.co.th (for local business)
inform2@rojpaiboon.co.th (for international business)
Tel. : (+66)2434-3747, (+66)2424-0939, (+66)2881-8511, (Auto 30 line)

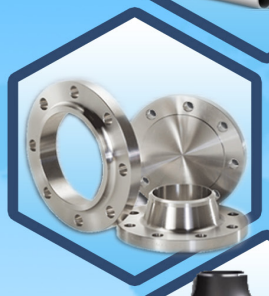
Valve

วาล์วประตูน้ำ, โกลบวาล์ว, เช็ควาล์ว, บอลวาล์ว,
วายสเตรนเนอร์, บัตเตอร์ฟลายวาล์ว,
คอนโทรลวาล์ว, บาลานซิ่งวาล์ว,
หัวขับวาล์ว (แบบใช้ลม และแบบใช้ไฟฟ้า)



Pipe

ท่อคาร์บอน (มีตะเข็บและไม่มีตะเข็บ),
ท่อสแตนเลส (มีตะเข็บและไม่มีตะเข็บ),
ท่ออัลลอยด์ และท่อหลอดสแตนเลส (ไม่มีตะเข็บ),
ท่อคาร์บอนชุบกัลวาไนซ์ (มีตะเข็บ)



Flange

หน้าแปลนเหล็กคาร์บอนและสแตนเลส,
หน้าแปลนสลิปออน, หน้าแปลนคอสูง, หน้าแปลนบอด
หน้าแปลนเชื่อมซ็อกเก็ต, หน้าแปลนเกลียว

Fittings

ข้อต่อเชื่อมท่อเหล็กคาร์บอนและสแตนเลส,
ข้อต่อแรงดันสูงเหล็กคาร์บอน (3000, 6000 LBS),
ข้อต่อแรงดันสูงสแตนเลส (3000 LBS)

Building Management System

ระบบควบคุมการจัดการอัตโนมัติภายในอาคาร,
ระบบควบคุมพลังงานภายในอาคาร,
ระบบควบคุมอุณหภูมิ,
การระบายอากาศและปรับอากาศภายในอาคาร

Other Products For Marine

สินค้างานระบบท่อทุกชนิด,
อุปกรณ์และอะไหล่ประกอบเรือ,
เครื่องยนต์สำหรับเรือ,
ระบบบำบัดน้ำเสียภายในเรือ

The Official Distributor of

KITZ Awaji SHORITSU NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL HYUNDAI HYSCO SeAH SeAH Steel Corporation HYST TOYO

TA HYDRONICS GREYSTONE ACCURACY BY DESIGN LOYTEC Innovative BAS Building Automation t.a.c. by Schneider Electric Schneider Electric PELCO by Schneider Electric DECCORTE ULMA

บริษัท วชิรธร จำกัด
VARCHIRADHORN CO., LTD

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผู้แทนจำหน่ายอย่างเป็นทางการในประเทศไทย

DURAMAX MARINE LLC

Johnson CUTLESS BEARINGS

Class II Bearing on US Navy Qualified Products List.

AMERICAN SAFETY TECHNOLOGIES

MIL-SPEC Non-Skid Coating

SKF Marine

TURBULO
Bilge Water Separator

SIMPLEX-COMPACT®

Parker | Village Marine Tec.™

MIL-SPEC
Reverse
Osmosis

HMSA

Biological
Sewage Treatment

LANTOS

Natural Products with Countless Solutions

AUSTRALIAN MADE AND OWNED

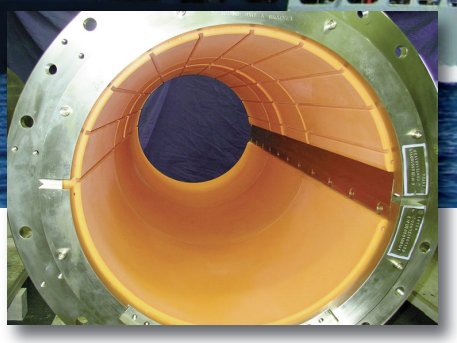
ECO Friendly

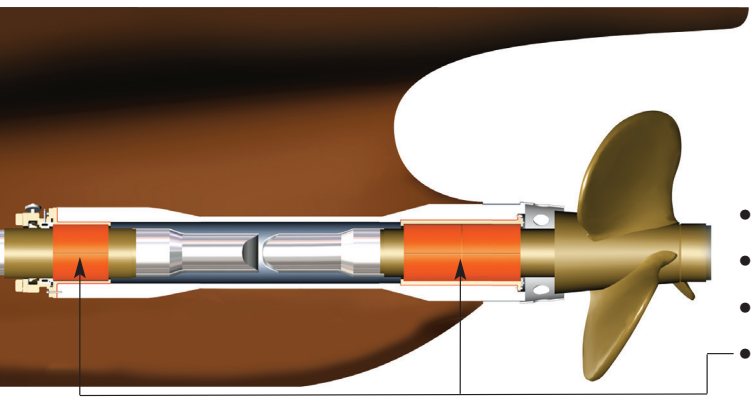
48/5-6 ชั้น 5 อาคารปรีชาคอมเพล็กซ์ ซอยรัชดาภิเษก 20 แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กทม. 10310

เบอร์ติดต่อ : 065-789-2414 Email: info@varchiradhorn.co.th ID Line: bmn2003

COMPAC Seawater Lubricated Propeller Shaft Bearings

used by over 40 Navies and Coast Guards





- Proven Performance
- No Catastrophic Failure
- Low Accoustic Signature
- COMPAC Seawater Lubricated Propeller Shaft Bearing System

With over 35 years of bearing experience using the proven principles of seawater lubrication, Thordon' s propeller shaft bearing systems are simple, reliable and oil-free for newbuilds and conversions

THORDON

THORDON BEARINGS INC.

www.ThordonBearings.com

บริษัท เสรีสรรพกิจ จำกัด

305/15,17 ถนนพิชัย แขวงถนนนครไชยศรี

เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์ 02-241-5269, 02-241-5305

โทรสาร 02-243-2362

อีเมล : seri_ent@truemail.co.th

Sauer Compressors

Sauer Compressors –
Partner of the Royal Thai Navy

More than 53 of the world's Navies rely on Sauer Compressors in their aircraft carriers, destroyers, frigates, corvettes, patrol boats, submarines and mine hunters.

53 Navies

202 Ship Programmes

1,315 Ships

3,140 Compressors

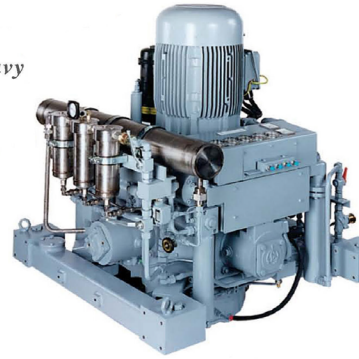
Navies that appreciate such special design features as:

- **easy maintenance and accessibility**
- **low noise signature**
- **high reliability**
- **low-weight, compact design**

Based on the feedback of Navies' experience, Sauer's know-how results in a steady stream of innovations, e. g. the WP 5000 HP air compressor with its 100 % balanced free inertial forces.

Innovations that give Navies the technological leadership to tackle the challenges of tomorrow's world!

T45 Daring Class destroyer of the Royal Navy equipped with 3 x WP 5500 compressors.



J.P. Sauer & Sohn Maschinenbau GmbH
Postfasch 92 13, 24157 Kiel

TELEFON 0431 3940-0
TELEFAX 0431 3940-24
E-MAIL info@sauercompressors.de
WEB www.sauercompressors.com

Sales Agent
บริษัท เสรีอินเตอร์เทรด จำกัด

โทรศัพท์: 02 331 3322
e-mail: seriintertrade@rochemasia.com

๑๓๑ ปี
ที่มุ่งมั่น
สู่ภารกิจที่ท้าทาย

บริเวณอ่าวจุกเสม็ด อำเภอสัตหีบ
จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่คลื่นลมสงบ
เนื่องจากมีเกาะและเขื่อนกั้นคลื่น
ทั้งยังตั้งอยู่ใกล้กับท่าเรือพาณิชย์สัตหีบ
และสนามบินอู่ตะเภา ซึ่งสะดวกต่อการส่งกำลังบำรุง
และมีศักยภาพในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ได้
อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช เริ่มดำเนินการก่อสร้าง
ในเดือนกุมภาพันธ์ ๒๕๓๘

วารสารกรมอู่ทหารเรือ
ประจำปี ๒๕๖๔
Royal Thai Naval Dockyard Journal 2021

กระบวนการควบคุมการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ

นาวาเอก อมรเทพ ทองสินธุ์
รองผู้อำนวยการ กองโรงงานเรือเหล็ก อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ

การควบคุมการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือเกี่ยวข้องกับเรื่อง ขั้นตอนในการสร้างเรือของอู่ต่อเรือ ช่วงเวลาสำคัญในการต่อเรือ (Milestone) แผนหลักในการสร้างเรือ (Production Master Schedule) ความหมายของส่วนประกอบตัวเรือ (Outfitting) ช่วงเวลาที่จะติดตั้ง (Stage) และแผนการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือในช่วงต่าง ๆ

๑. ขั้นตอนในการสร้างเรือ (Construction)

การสร้างเรือแต่ละลำของบริษัท DSME นั้น มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องหลากหลายขั้นตอน เช่น กระบวนการในการออกแบบ (Design) กระบวนการในการสร้างเรือ (Construction) ซึ่งกระบวนการในการสร้างเรือยังสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้ดังนี้

๑.๑ การจัดหาพัสดุ (Material)

๑.๒ การขนส่งพัสดุมายังอู่ต่อเรือ (Unloading)

๑.๓ การจัดเก็บและการเรียงแผ่นเหล็กต่อเรือที่อู่ฯ (Steel Stock)

๑.๔ การเตรียมแผ่นเหล็ก (Treatment: Heating, Blasting, Spay, Dry)

๑.๕ การตัดแผ่นเหล็ก (Cutting)

๑.๖ การดัดแผ่นเหล็กและโครงสร้าง (Curved Plate: Rolling, Bending, Press & Knuckle)

๑.๗ การผลิตชิ้นส่วนย่อย (Assembly: T-bar, Small assembly, components)

๑.๘ การสร้างบล็อก (Block Fabrication)

๑.๙ การติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือล่วงหน้า (Pre-Outfitting)

๑.๑๐ การทำความสะอาดพื้นผิวบล็อก (Block Blasting)

๑.๑๑ การทำสีบล็อก (Block Painting)

๑.๑๒ การประกอบบล็อกใหญ่ (Pre-Erection)

๑.๑๓ การประกอบตัวเรือ (Erection)

๑.๑๔ การปล่อยเรือลงน้ำ (Launching)

๑.๑๕ การติดตั้งอุปกรณ์บนเรือบริเวณหน้าท่าเรือ (Quay)

๑.๑๖ การทดสอบทดลองในทะเล (Sea Trial)

๑.๑๗ การส่งมอบเรือ (Delivery)

๒. ช่วงสำคัญในการสร้างเรือ (Milestone)

กระบวนการในการสร้างเรือตามข้อที่ ๑ นั้น มีขั้นตอนดำเนินการจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อจะให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถมองภาพรวมอย่างสะดวก สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงสำคัญในการสร้างเรือ (Milestone) และรวมขั้นตอนการสร้างเรือได้ดังนี้

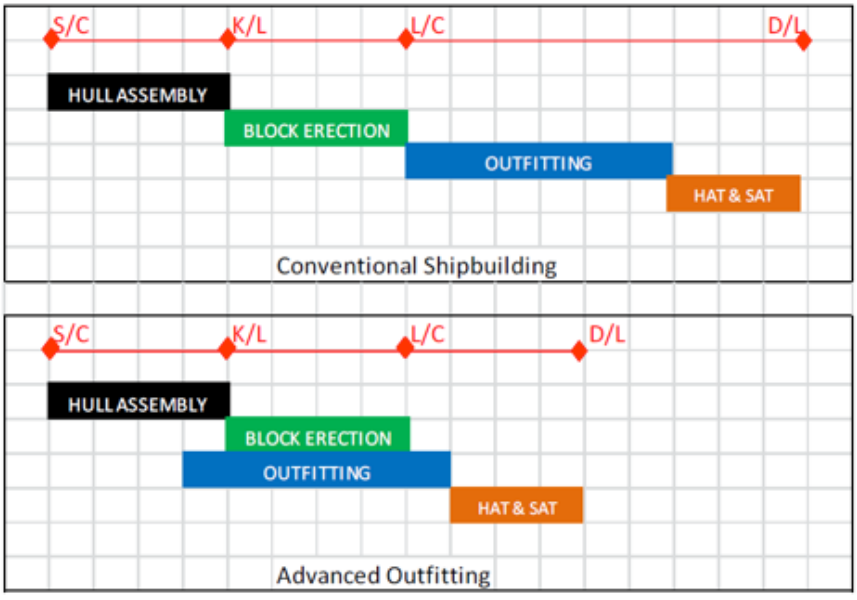
๒.๑ Steel Cutting (S/C) จุดเวลาที่เริ่มตัดแผ่นเหล็กแผ่นแรก ตามขั้นตอนที่ ๑.๕

๒.๒ Keel Laying (K/L) จุดเวลาที่เริ่มประกอบตัวเรือ (Erection) ตามขั้นตอนที่ ๑.๑๓

๒.๓ Launching (L/C) จุดเวลาที่เริ่มนับจากการปล่อยเรือลงน้ำ (Launching) ตามขั้นตอนที่ ๑.๑๔

๒.๔ Delivery (D/L) จุดเวลาที่ได้ส่งมอบเรือ (Delivery) ตามขั้นตอนที่ ๑.๑๗

บริษัทฯ จะประมาณการเวลาในการสร้างเรือจากประสบการณ์ในการสร้างเรือที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น จะใช้เวลาจาก Steel Cutting (S/C) ถึง Keel Laying (K/L) ประมาณ ๘ เดือน จะใช้เวลาจาก Keel Laying (K/L) ถึง Launching (L/C) ประมาณ ๘ เดือน และจะใช้เวลาจาก Launching (L/C) ถึง Delivery (D/L) ประมาณ ๑๕ เดือน ดังนั้นจะใช้เวลาในการสร้างเรือตั้งแต่เริ่มตัดแผ่นเหล็กจนถึงการส่งมอบเรือใช้เวลาประมาณ ๓๑ เดือน



รูปที่ ๑ ช่วงสำคัญในการสร้างเรือ

๓. แผนการสร้างเรือ Pre-plan และ Post-plan

เมื่อทราบช่วงเวลาสำคัญ (Milestone) ในการสร้างเรือตามข้อ ๒ แล้ว จะใช้ข้อมูลดังกล่าวในการจัดทำ แผนหลักในการสร้างเรือ (Production Master Schedule) โดยแผนดังกล่าวจะแบ่งการสร้างเรือเป็นแบบพื้นที่ (Zone) ประกอบไปด้วย Super Structure Zone, FWD Hull Zone, Combat Management System & Major Equipment Zone, Engine Room Area Zone, และ AFT Hull Zone จากนั้นจะใช้แผนหลักในการสร้างเรือนี้เป็นข้อมูลในการจัดทำแผน Pre-Production Schedule (Pre-plan) และ Post-Production Schedule (Post-Plan) ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ

โดย Pre-plan จะบอกถึงกิจกรรม (Activities) ของขั้นตอนที่ ๑.๑ – ๑.๑๒ หรือจาก Steel Cutting (S/C) ถึง Keel Laying (K/L) ซึ่งเป็นกิจกรรมในการสร้างเรือก่อนวางกระดูกงู ส่วน Post-plan นั้นจะบอกถึงกิจกรรมของขั้นตอนที่ ๑.๑๓ – ๑.๑๗ หรือจาก Keel Laying (K/L) ถึง Delivery (D/L) ซึ่งเป็นกิจกรรมในการสร้างเรือหลังจากการวางกระดูกงูจนไปถึงกิจกรรมในการส่งมอบเรือ

การแบ่งแผนฯ ออกเป็น Pre-plan และ Post-plan นั้น พบว่ามีประโยชน์กับผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องในการสร้างเรือเป็นอย่างมาก เนื่องจาก Pre-plan จะระบุว่ากิจกรรมที่ต้องดำเนินการจะต้องดำเนินการกับบล็อกหมายเลขเท่าไหร่ เมื่อผู้ปฏิบัติงานทราบว่าตนเองต้องไปปฏิบัติงานที่บล็อกใด ก็จะตรวจสอบจากระบบได้ทันทีว่าขณะนี้บล็อกดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณไหนของอู่ฯ ทำให้ลดปัญหาความสับสนในการเข้าไปปฏิบัติงาน เนื่องจากบล็อกแต่ละบล็อกจะมีการเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่ต้องปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนอยู่เป็นประจำ รวมถึงพัสดุต่าง ๆ ก็จะถูกระบุว่าเป็นของบล็อกใดทำให้ลดปัญหาการติดตั้งอุปกรณ์ผิดบล็อกได้เป็นอย่างดีสำหรับผู้ควบคุมการปฏิบัติสามารถตรวจสอบความก้าวหน้าในการสร้างเรือจากเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบตัวเรือที่ติดตั้งแล้วเสร็จในแต่ละบล็อก

ส่วน Post-plan เป็นการระบุกิจกรรมของขั้นตอนที่ ๑.๑๓ – ๑.๑๗ นั้น คือ เมื่อบล็อกเริ่มถูกประกอบเข้าเป็นลำเรือแล้ว การอ้างอิงบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานโดยการระบุบล็อกอย่างเดียวเริ่มไม่เพียงพอ เนื่องจากการระบุตำแหน่งบล็อกเริ่มยากขึ้น ดังนั้นจึงเพิ่มระบบ Zone ขึ้นมาช่วยโดยการแบ่งพื้นที่ตัวเรือทั้งลำออกเป็นส่วนๆ (Zone) ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถหาตำแหน่งการปฏิบัติงานได้รวดเร็วขึ้น ว่าตนเองจะต้องเข้าไปปฏิบัติงานใน Zone ไหนและบล็อกอะไร อีกทั้งงานบางประเภทจำเป็นต้องติดตั้งในพื้นที่ต่อเนื่องของบล็อกต่างๆ การทำงานระบบ Zone จึงมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น

๔. ความหมายของ Outfitting

บริษัท DSME ได้แบ่งประเภทของส่วนประกอบตัวเรือ (Outfitting) ออกเป็น ๔ สาขา ได้แก่ Hull outfitting, Piping, Machinery และ Electrical ส่วนสาขา Combat System และ Weapons จะเป็นการทำงานร่วมกันกับผู้ที่จะเข้ามาติดตั้งระบบดังกล่าว สรุปได้ว่าทุกอย่างภายในเรือยกเว้นโครงสร้างตัวเรือและแผ่นเหล็กเปลือกเรือ ทั้งหมดถูกจัดเป็นส่วนประกอบตัวเรือ หรือที่เรียกว่า Outfitting โดยแต่ละสาขาจะมีขอบเขตของงาน (Scope of Work) ดังนี้

๓.๑ แผนก Hull outfitting จะรับผิดชอบในการติดตั้ง

- ๓.๑.๑ Steel Outfitting
  - ๓.๑.๑.๑ Machinery Foundation
  - ๓.๑.๑.๒ Grating and Handrail
  - ๓.๑.๑.๓ Fire Fighting System Seating
  - ๓.๑.๑.๔ Etc.
- ๓.๑.๒ HVAC system
  - ๓.๑.๒.๑ Duct
  - ๓.๑.๒.๒ Supply & Exhaust Fan
  - ๓.๑.๒.๓ Louver
  - ๓.๑.๒.๔ Etc.
- ๓.๑.๓ Gas Pipe system
- ๓.๑.๔ Accommodation
  - ๓.๑.๔.๑ Furniture foundation
  - ๓.๑.๔.๒ Sanitary equipment seating
  - ๓.๑.๔.๓ Insulation
  - ๓.๑.๔.๔ Etc.
- ๓.๑.๕ Deck Machinery
  - ๓.๑.๕.๑ Mooring & Towing equipment
  - ๓.๑.๕.๒ Anchoring system
  - ๓.๑.๕.๓ RAS/FAS equipment
  - ๓.๑.๕.๔ Etc.

๓.๒ แผนก Piping จะรับผิดชอบในการติดตั้ง

๓.๒.๑ Piping installation

๓.๒.๒ Pipe overboard & Ship side valves

๓.๒.๓ Tubing & Instrument installation

๓.๒.๔ Piping Hydro test and Piping flushing

๓.๓ แผนก Machinery จะรับผิดชอบในการติดตั้งระบบขับเคลื่อนทั้งหมด โดยมีกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์ที่สำคัญระบุอยู่ใน Major Equipment Zone ของแผนหลักในการสร้างเรือ (Production Master Schedule)

๓.๔ แผนก Electrical จะรับผิดชอบในการติดตั้งระบบไฟฟ้าของเรือตามพื้นที่ (Zone) ต่าง ๆ

๓.๕ สาขา Combat System และ Weapons จะเป็นการทำงานของบริษัทฯ ร่วมกันกับผู้ที่จะเข้ามาติดตั้งระบบโดยมีกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์ที่สำคัญระบุอยู่ใน Combat Management System & Major Equipment Zone ของแผนหลักในการสร้างเรือ (Production Master Schedule) ซึ่งสามารถแบ่งย่อยเป็นงานด้านต่าง ๆ ดังนี้

๓.๕.๑ Comat System

๓.๕.๒ Sonar System

๓.๕.๓ Weapons System

เนื่องจากส่วนประกอบตัวเรือ (Outfitting) นั้น มีรายการที่ต้องติดตั้งเป็นจำนวนมาก การวางแผนและการควบคุมการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ (Control of Outfitting Works) นั้น ผู้ทำหน้าที่วางแผนจึงต้องมีความเข้าใจใน ขั้นตอนในการสร้างเรือของอู่ต่อเรือนั้นๆ ช่วงสำคัญของการสร้างเรือ (Milestone) แผนหลักในการสร้างเรือ (Production Master Schedule) ตลอดจนแผน Pre-Production Schedule (Pre-plan) และ Post-Production Schedule (Post-Plan) อีกทั้งต้องเข้าใจการแบ่งช่วงระยะเวลาในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ (Stage) อย่างละเอียด

๕. การแบ่งช่วงระยะเวลา (Stage) ในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ

ช่วงระยะเวลา (Stage) ในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ จะสอดคล้องกับช่วงระยะเวลาในการสร้างบล็อก โดยมีการแบ่งช่วงระยะเวลาในการติดตั้งฯ ที่สำคัญดังนี้

๕.๑ H Stage: เป็นช่วงเวลาในการติดตั้งฯ เมื่อการผลิตชิ้นส่วนย่อย (Assembly: T-bar, Small assembly, components) แล้วเสร็จ โดยจะเริ่มติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือในกลุ่ม Steel outfitting โดยจะติดตั้ง General Pipe & Support ส่วนใหญ่จะเป็นการติดตั้งในบล็อกท้องเรือ

๕.๒ B Stage: เป็นช่วงเวลาในการติดตั้งฯ เมื่อการสร้างบล็อก (Block Fabrication) แล้วเสร็จ โดยบล็อกจะถูกเคลื่อนย้ายไปโรง Pre-Outfitting เพื่อติดตั้งฯ Pipe & Support, Duct & Support, และ Cable tray & Support

๕.๓ T Stage: เป็นการผลิตบล็อกเพื่อติดตั้งอุปกรณ์บนดาดฟ้าของบล็อกนั้น ๆ

๕.๔ P Stage: เป็นช่วงเวลาในการติดตั้งฯ เมื่อการประกอบบล็อกใหญ่ (Pre-Erection) แล้วเสร็จ โดยจะติดตั้งอุปกรณ์บนดาดฟ้า (Upper deck outfitting) และอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างบล็อก (P.E. Joint)

๕.๕ D Stage: เป็นช่วงเวลาในการติดตั้งฯ ขณะที่เรือกำลังดำเนินการประกอบตัวเรือ (Erection) บน Skid Way หรือในอู่แห้ง โดยบริเวณพื้นที่ติดตั้งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ด้านบนบล็อกห้องเครื่องที่จะเปิดโล่งเหมาะสำหรับการนำเครื่องจักร อุปกรณ์ เข้าดำเนินการติดตั้ง

๕.๖ Q Stage: เป็นช่วงเวลาในการติดตั้งฯ หลังจากที่ปล่อยเรือลงน้ำแล้ว

๖. แผนการติดตั้ง Outfitting

การติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ (Outfitting) นั้น แนวทางการปฏิบัติคือจะพยายามติดตั้งในแต่ละช่วงเวลาการสร้างเรือให้ได้มากที่สุด ซึ่งแบ่งเป็นช่วงการติดตั้งได้ดังนี้

๖.๑ Pre – Outfitting เป็นช่วงแรกของการเริ่มติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ โดยจะเริ่มต้นติดตั้งในช่วง H Stage และ B Stage โดยในขั้นนี้บล็อกที่ถูกสร้างเสร็จจะถูกเคลื่อนย้ายมาที่โรงติดตั้ง Pre-Outfitting เพื่อทำการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ ส่วนช่วง T Stage และ P Stage บล็อกจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณ Skid Way ซึ่ง Pre – Outfitting จะมีรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการติดตั้งดังนี้

๖.๑.๑ Review of Material เป็นการตรวจสอบรายการพัสดุที่จะติดตั้งบนบล็อกต่างๆ โดยจะแยกตามประเภทของพัสดุตามสาขา คือ Hull outfitting, Piping, Machinery และ Electrical เมื่อได้จำนวนของแต่ละรายการแล้วก็จะเป็นการคำนวณจำนวนแรงงาน (Man-hour) ที่จะใช้ในการติดตั้ง

๖.๑.๒ Confirm drawing and revision เป็นการตรวจสอบแบบที่จะใช้ในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ (Installation Drawings) แยกตามสาขาต่างๆ โดยผู้ที่รับผิดชอบในการติดตั้งจะต้องตรวจสอบจากระบบคอมพิวเตอร์ของบริษัทฯ ว่าแบบติดตั้งที่ตนเองมีเป็นแบบล่าสุดหรือยัง

๖.๑.๓ Go over set-up method by 3D modelling เป็นการตรวจสอบ 3D modelling ของรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบตัวเรือในรูปแบบ ๓ มิติ ในบล็อกที่จะเข้าดำเนินการติดตั้ง เพื่อให้ผู้ติดตั้งได้เห็นภาพงานติดตั้งในแต่ละงานได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยในการวางแผนลำดับในการติดตั้งฯ

๖.๑.๔ Check prepared material เป็นการตรวจสอบพัสดุที่จะถูกนำไปติดตั้ง โดยการแบ่งแยกตามบล็อก, Stage, และตามประเภทของพัสดุที่จะติดตั้ง เพื่อตรวจสอบความพร้อมก่อนการติดตั้ง

๖.๑.๕ Check installation rate เป็นการตรวจสอบความก้าวหน้าในการติดตั้งพัสดุตามบล็อก, Stage, และตามประเภทของพัสดุที่เป็นปัจจุบันได้ติดตั้งไปแล้วเป็นกี่เปอร์เซ็นต์

๖.๑.๖ Hand-over materials เป็นการส่งมอบพัสดุที่ยังไม่ได้รับการติดตั้งในบล็อกนั้นๆ ให้กับผู้รับผิดชอบในการติดตั้งใน Stage ถัดไป

๖.๒ On-Board Outfitting เป็นการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ ในช่วงประกอบบล็อกต่าง ๆ เข้าเป็นตัวเรือ (Block erection) โดยจะเป็นการติดตั้งในขั้น D Stage รายละเอียดการปฏิบัติจะดำเนินการตามข้อ ๖.๑.๑ – ๖.๑.๖

๖.๓ Final Outfitting เป็นการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ ภายหลังจากปล่อยเรือลงน้ำแล้ว รายละเอียดการปฏิบัติจะดำเนินการตามข้อ ๖.๑.๑ – ๖.๑.๕

๗. การควบคุมการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ (Control of Outfitting Work)

	Construction	Milestone	Plans	Stages	Outfitting
1	Material		Pre-Plan		
2	Unloading				
3	Steel Stock				
4	Treatment				
5	Cutting	Steel Cutting (S/C)			
6	Curved Plate				
7	Assembly			H Stage	Pre-Outfitting
8	Block Fabrication				
9	Pre-Outfitting			B - T Stage	
10	Block Blasting				
11	Block Painting				
12	Pre-Erection			P Stage	Pre-Outfitting
13	Erection	Keel Laying (K/L)	Post-Plan	D Stage	On-Board Outfitting
14	Launching	Launching (L/C)			
15	Quay			Q Stage	Final Outfitting
16	Sea Trial				
17	Delivery	Delivery (D/L)			

รูปที่ ๒ แผนการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ Outfitting

การวางแผนติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือทั้งหมดจะถูกวางแผนกระจายไปติดตั้งในช่วง Pre-Outfitting, On-Board Outfitting และ Final Outfitting โดย Pre-Outfitting จะกระจายไปติดตั้งในช่วงระยะเวลา H – B – T Stages ส่วน On-Board Outfitting จะติดตั้งช่วงระยะเวลา D – Stage ส่วน Final Outfitting จะติดตั้งในช่วงระยะเวลา Q – Stage โดยการเตรียมความพร้อมในการติดตั้งฯ จะดำเนินการจะดำเนินการตามข้อ ๖.๑.๑ – ๖.๑.๖ สำหรับความก้าวหน้าในการดำเนินการจะคิดเป็นเปอร์เซนต์ของความสำเร็จในการติดตั้งส่วนประกอบตัวเรือ

ระบบหลักและอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับ Hull Outfitting
(Major Equipment of Hull Outfitting)

นาวาเอก ยุทธภูมิ ศรีสุข
ประจำกรมกำลังพลทหารเรือ

อู่การแบ่งระบบหลัก และ อุปกรณ์ที่เกี่ยวกับ Hull Outfitting (Major Equipment of Hull Outfitting) อาจแบ่งได้ ดังนี้

๑. Traffic and Access

๒. ระบบเครื่องหางเสือ (Steering Gear)

๓. ระบบรับ ส่งของและเติมน้ำมันในทะเล (RAS และ FAS)

๔. ระบบสมอเรือ (Anchoring Handling)

๕. ระบบการพ่วงเรือ และ ลากจูง (Mooring andTowing)

๖. ระบบช่วยชีวิต (Life Saving)

๗. ระบบการรับเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter Handling)

๘. ระบบการขนส่งอาวุธ (Ammo Handling)

โดยรายละเอียดของแต่ละระบบมีดังนี้

๑. Traffic and Access

๑.๑ ชนิดของ Access

ประกอบไปด้วย ประตู HatchPatch และ Manhole รวมถึง Coaming ต่างๆ ในรูปที่ ๑

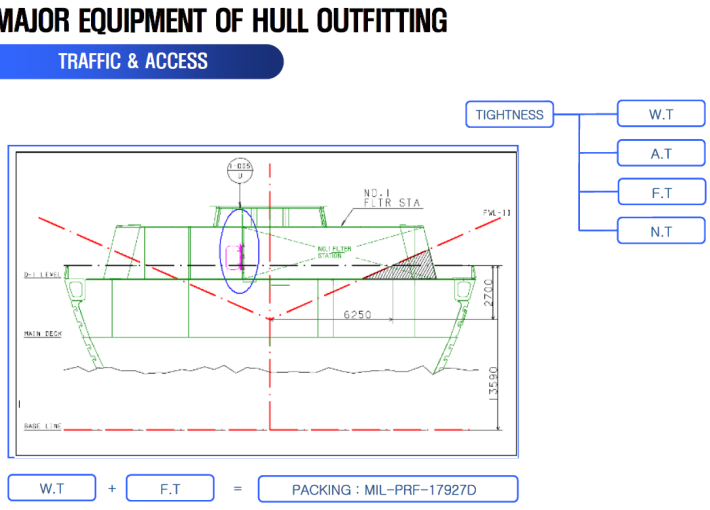
ประตู และ ฝา Hatch แบ่งเป็นชนิดที่เปิด และปิดได้เร็วโดยการหมุน หรือ ดังที่เปิด (Quick Acting, Q/A Type) และชนิดที่ต้องเปิดสลักแต่ละตัวเอง (Manual, DOG Type) ดังแสดงในรูปที่ ๒

๑.๒ การผนึกของประตู Hatch และ Manhole (Tightness)

การผนึกของประตู Hatch และ Manhole แบ่งเป็น

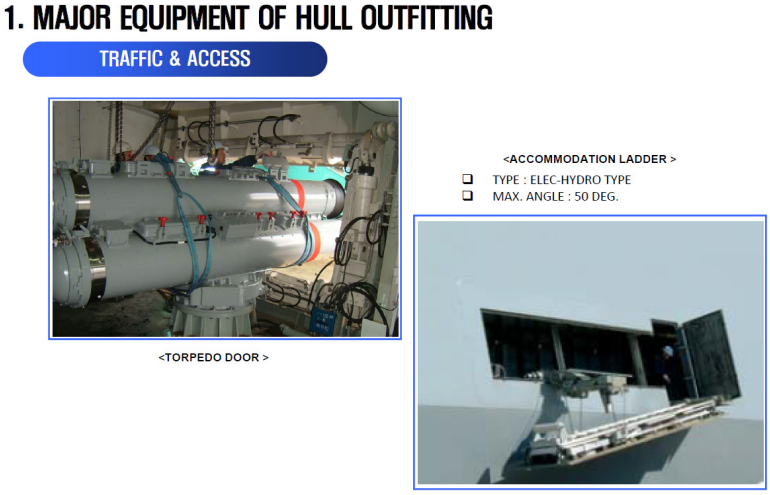
- Water Tight ผนึกไม่ให้น้ำผ่านเข้าได้
- Air Tight ผนึกไม่ให้อากาศผ่านเข้าได้
- Fume Tight ผนึกไม่ให้ไอต่างๆ ผ่านเข้าได้
- Non Tight ไม่มีการผนึก

รูปที่ ๑ ชนิดของ Access



รูปที่ ๒ การผนึกของประตู Hatch และ Manhole

ในรูปที่ ๒ ภายใต้เส้น V line การผนึกจะเป็นแบบ Water Tight และ การผนึกชนิด Water Tight รวมกับ Fume Tight จะเป็นไปตามมาตรฐาน MIL-PRF-๑๗๙๒๗D ทั้งนี้ Traffic และ Access ยังรวมไปถึงฝาเปิดของแท่นตอร์ปิโด (Torpedo Door) และ บันไดข้างเรือ (Accommodation Ladder) เช่นในรูปที่ ๓



รูปที่ ๓ ฝาเปิดของแท่นตอร์ปิโด (Torpedo Door) และ บันไดข้างเรือ (Accommodation Ladder)

๒. ระบบเครื่องหางเสือ (Steering Gear)

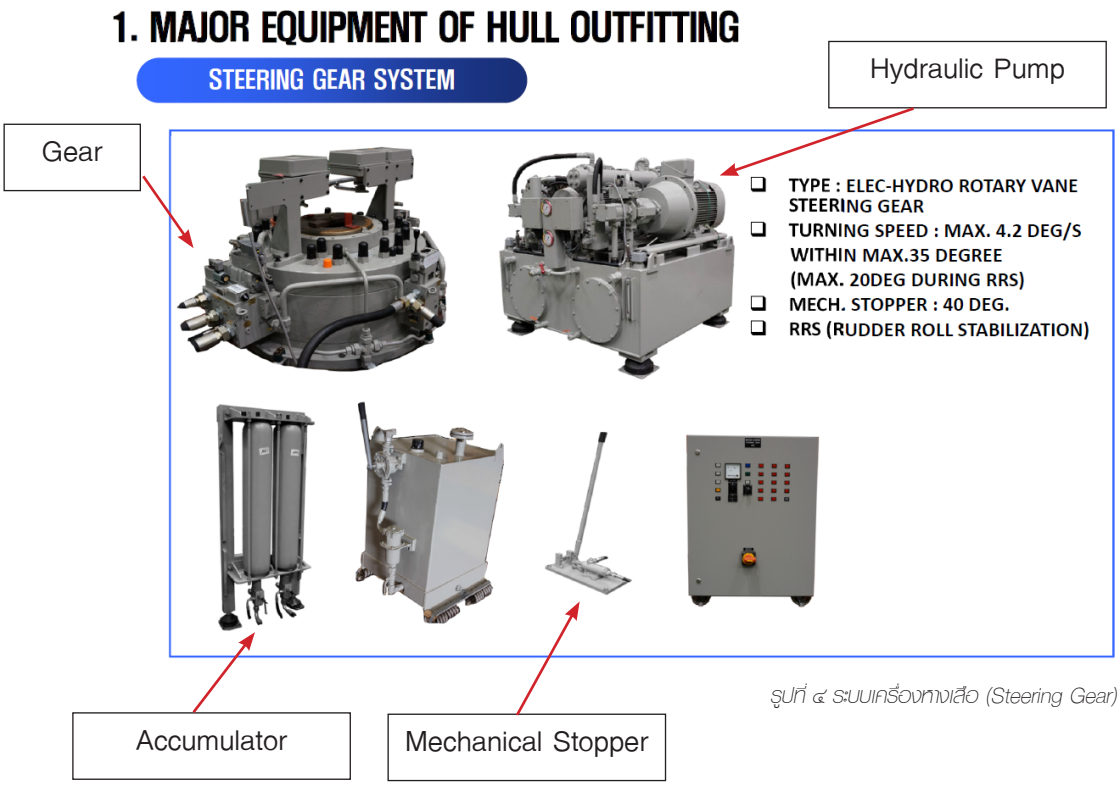
ระบบเครื่องหางเสือประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังที่แสดงในรูปที่ ๔ มีอุปกรณ์หลักคือ

๒.๑ ปั๊มไฮดรอลิกระบบเครื่องหางเสือ เป็นแหล่งสร้างกำลังดันให้น้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในเกียร์สำหรับปรับหางเสือ

๒.๒ Accumulator มีหน้าที่เก็บสะสมกำลังดันของน้ำมันไฮดรอลิก ใช้สำหรับเพิ่มและรักษาระดับกำลังดันของน้ำมันไฮดรอลิก ในกรณีที่ต้องมีการปรับเกียร์ขับเคลื่อนเพื่อเปลี่ยนหางเสืออย่างรวดเร็ว เช่นใน Rudder Roll Stabilization Mode

๒.๓ Mechanical Stopper ทำหน้าที่หยุดระบบเครื่องหางเสือ เพื่อไม่ให้หางเสือปรับมุมเกิน ๔๐ องศา

๒.๔ Rudder Roll Stabilization เป็นระบบการควบคุมทิศทางของเรือโดยหางเสือจะปรับไปมาตามสภาวะของคลื่น (Sea Stage) เพื่อลดการโคลงของเรือ และ ช่วยรักษาทิศทางการเดินเรือ



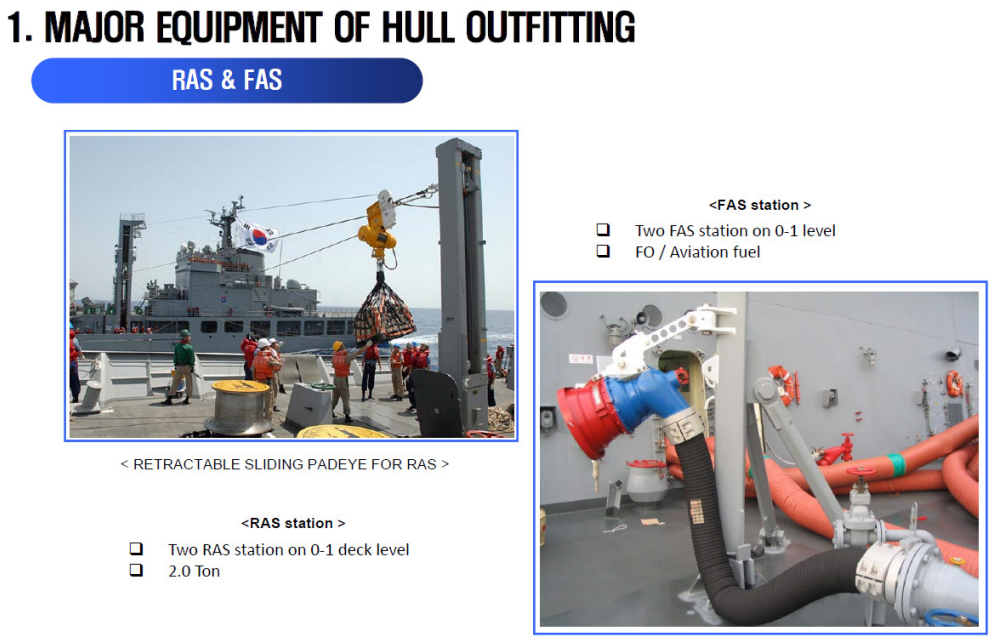
รูปที่ ๔ ระบบเครื่องหางเสือ (Steering Gear)

๓. ระบบรับส่งของและเติมน้ำมันในทะเล (RAS และ FAS)

ระบบส่งของและเติมน้ำมันในทะเล (RAS :Replenishment At Sea และ FAS : Fueling At Sea) ประกอบไปด้วย

๓.๑ ระบบส่งของกลางทะเล (RAS) มีสถานีส่งของกราบละหนึ่งสถานี ติดตั้งอยู่ที่ ๐ – ๑ deck สามารถรับส่งสิ่งของได้หนักสุด ๒ ตัน ดังแสดงในรูปที่ ๕

๓.๒ ระบบเติมน้ำมันในทะเล (FAS) สามารถรับน้ำมันดีเซล และ น้ำมันอากาศยานได้ มีสถานีรับน้ำมันกราบละหนึ่งสถานี ติดตั้งอยู่ที่ ๐ – ๑ deck ดังแสดงในรูปที่ ๕



รูปที่ ๕ ระบบรับส่งของและเติมน้ำมันในทะเล (RAS และ FAS)

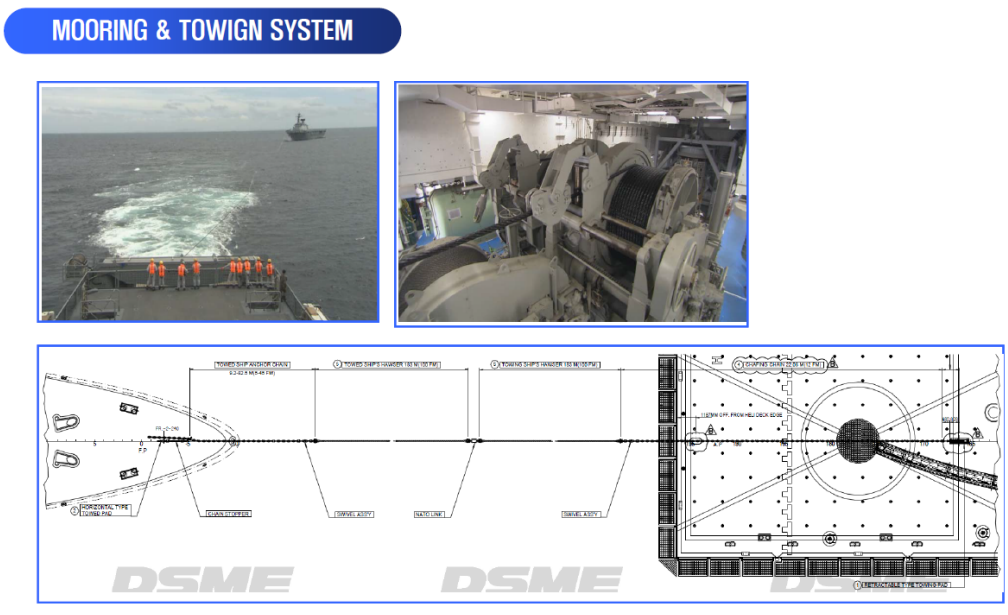
๔. ระบบสมอเรือ (Anchoring Handling)

ประกอบไปด้วยชุดสมอเรือ ๒ ชุด แต่ละชุด ประกอบไปด้วย สมอ (Anchor) กว้านสมอ (Anchor Windlass) และ หัวกว้าน (Warping Head) ชุดสมอทั้งสองชุดใช้มอเตอร์ในการทำงานร่วมกัน โดยมีชุดควบคุมอยู่ที่หัวเรือ Main Deckข้อมูลของ SWL (Safe Working Load) และข้อมูลทั่วไปทางเทคนิคของกว้านสมอ (Anchor Windlass) และ หัวกว้าน (Warping Head) แสดงอยู่ในรูปที่ ๖

รูปที่ ๖ระบบสมอเรือ (Anchoring Handling)

๕. ระบบการพ่วงเรือ และ ลากจูงเรือ (Mooring andTowing)

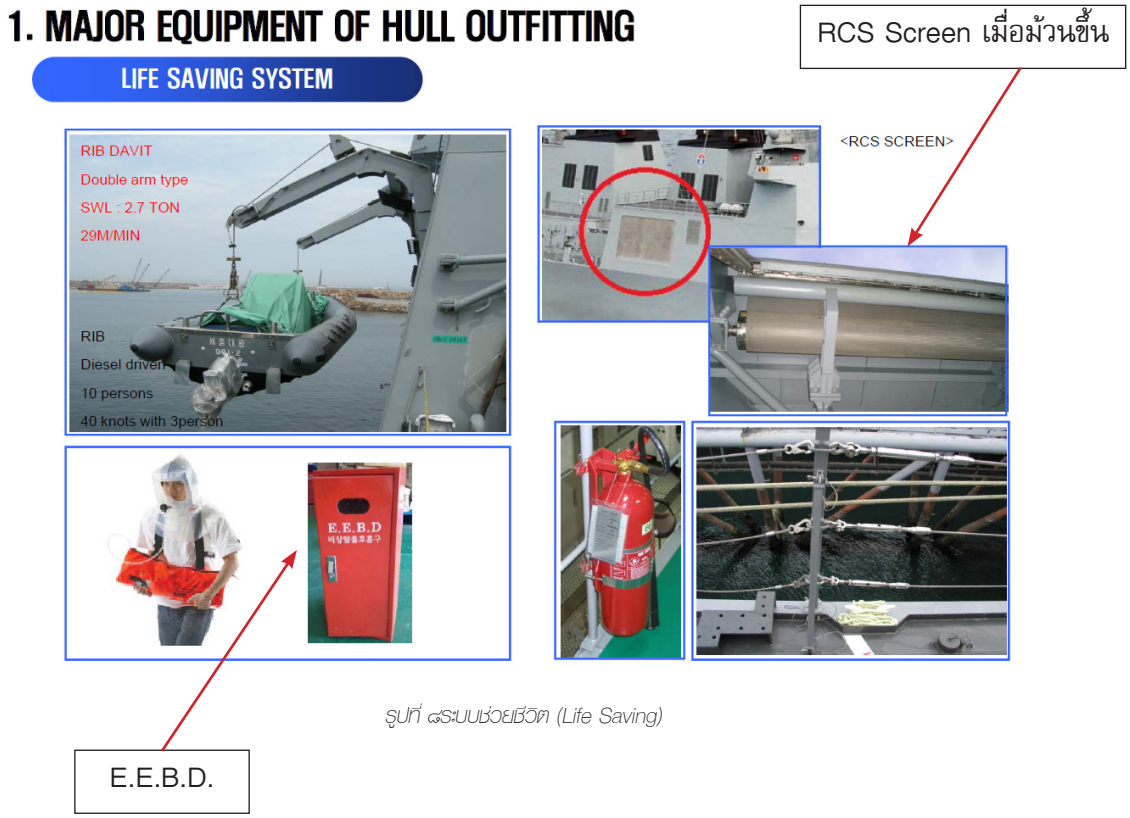
ระบบการพ่วงเรือ และ ลากจูงเรือติดตั้งอยู่กลางลำเรือที่ Main Deck ข้างโรงเก็บเฮลิคอปเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ ๗



รูปที่ ๗ ระบบการพูกเรือ และ ลากจูงเรือ (Mooring and Towing)

๖. ระบบช่วยชีวิต (Life Saving)

ประกอบไปด้วยเรือ RIB (Rigid Inflatable Boat) ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันดีเซลถังดับเพลิง เครื่องช่วยหายใจเมื่อเกิดเพลิงไหม้ (E.E.B.D : Emergency Escape Breathing Device) และราวลวดกันคนตกน้ำชนิดที่สามารถถอดประกอบได้ สำหรับเรือ RIB เมื่อเก็บอยู่ในเรือจะมีแผงลดการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (RCS Screen: Radar Cross Section Screen) ปิดบังอยู่โดยจะเป็นแผงตาข่ายเหล็ก (Wire Mesh) ทำหน้าที่ลด Radar Cross Section ของเรือ สามารถม้วนขึ้นลงได้เมื่อจะใช้งานเรือ RIB แผง RCS Screen จะม้วนขึ้น และหลักเดวิท (Boat Davit) จะยื่นออกมานอกตัวเรือเพื่อหย่อนเรือ RIB ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ ๘

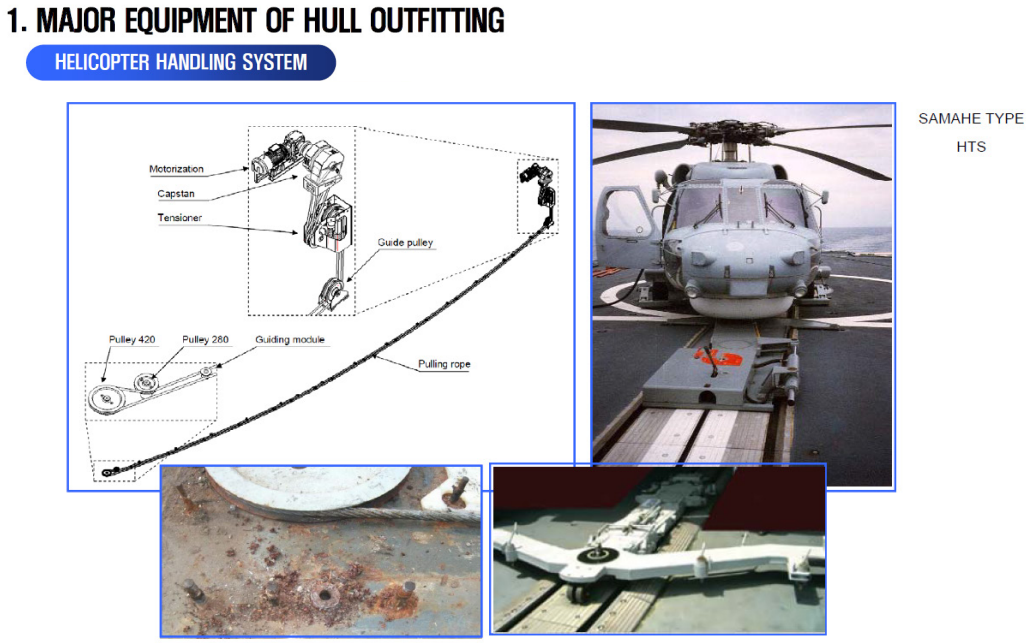


รูปที่ ๘ระบบช่วยชีวิต (Life Saving)

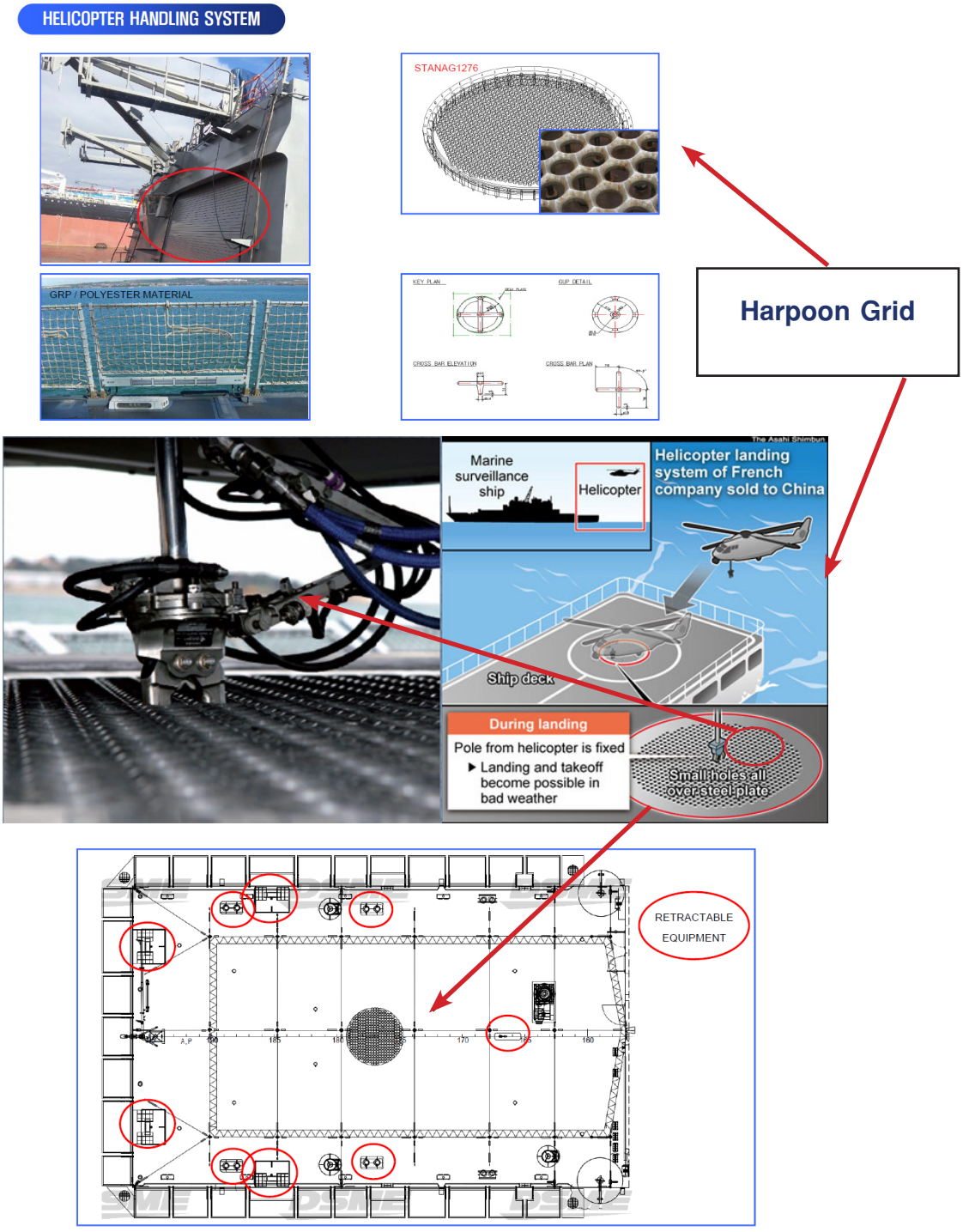
๗. ระบบการรับเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter Handling)

ระบบการรับเฮลิคอปเตอร์มีส่วนประกอบหลักคือ (รูปที่ ๙ และ รูปที่ ๑๐)

- Harpoon Grid
- ระบบรางลากเฮลิคอปเตอร์เข้าโรงเก็บเฮลิคอปเตอร์
- โรงเก็บเฮลิคอปเตอร์
- ราวเหล็กแบบพับได้รอบลานจอดเฮลิคอปเตอร์



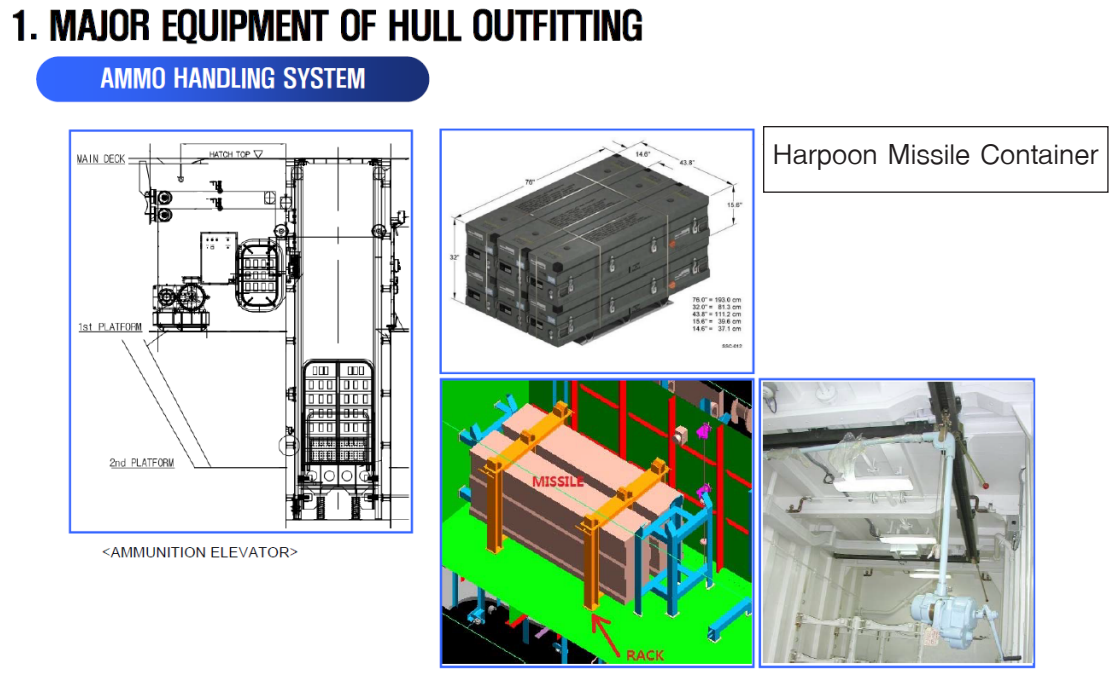
รูปที่ ๙ ระบบรางลากเฮลิคอปเตอร์เข้าโรงเก็บเฮลิคอปเตอร์ (SAMAHE Type)



รูปที่ ๑๐ ระบบการรับเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter Handling)

๘. ระบบการขนส่งอาวุธ (Ammo Handling)

เป็นระบบขนส่งบรรจุจรวดSSM (Surface to Surface Missile)Harpoon Block II (รูปที่ ๑๑) ผลิตโดยบริษัท Boeingประเทศสหรัฐอเมริกา แผนก Steel Outfitting ของบริษัท DSME รับผิดชอบในส่วนของการติดตั้งฐานอุปกรณ์ สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์เช่น Lift ขนส่งจรวดบริษัทผู้ผลิตอาวุธเป็นผู้รับผิดชอบในการติดตั้งทั้งหมด



รูปที่ ๑๑ ระบบการบรรจุอาวุธ (Ammo Handling)

กระบวนการสร้างเรือของ DSME
ในส่วนของ ELECTRICAL OUTFITTING

นาวาเอก กิตติศักดิ์ จันทร์น้อย
หัวหน้าสำรวจและตรวจสอบ กองแผนงานฝ่ายเรือ กรมแผนการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

ตามที่กองทัพเรือได้มีโครงการจัดหาเรือฟริเกตสมรรถนะสูง ได้แก่ ร.ล.ภูมิพลอดุลยเดช ซึ่งได้ว่าจ้างกับบริษัท Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd. (DSME) ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี โดยในโครงการนี้ ได้จัดให้มีการฝึกอบรมกำลังพลในการรับการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีขั้นการสร้างเรือและการบริหารจัดการ ผู้เขียนได้มีโอกาสเข้ารับการอบรมในหลักสูตร Electrical ระดับ Staff ตั้งแต่ ๗ ส.ค.๕๙ ถึง ๑ ก.ย.๖๐ จึงขอกล่าวถึงกระบวนการสร้างเรือของ DSME ในส่วนของ Electrical Outfitting โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงการจัดองค์กรและการบริหารจัดการในส่วนของ Electrical Outfitting โปรแกรมสารสนเทศที่ใช้ในการบริหารจัดการของ DSME และมาตรฐานแรงงานต่อชั่วโมง ไว้พอสังเขป ดังนี้

การจัดองค์กรและการบริหารจัดการ

DSME มีการจัดโครงสร้างโรงงานต่าง ๆ เพื่อรองรับการต่อเรือให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ และแบ่งตามกลุ่มงานหรือประเภทของเรือ ประกอบด้วย ๓ ส่วนใหญ่ ๆ คือ

๑. Naval and Special Ship Unit เป็นกลุ่มงานสร้างเรือพิเศษ เช่น เรือรบ เรือดำน้ำ

๒. Commercial Ship Unit เป็นกลุ่มงานสำหรับสร้างเรือทางพาณิชย์ เช่น เรือสินค้า เรือขนส่ง

๓. Offshore Plant Area Unit เป็นกลุ่มงานสร้างแท่นขุดเจาะหรือโครงสร้างสำหรับติดตั้งในทะเล

โดยในการจัดแบ่งองค์กรภายในส่วนต่าง ๆ จะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกัน ซึ่งตามแผนภูมิที่ ๑ จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของกลุ่มงาน Naval and Special Ship Unit

แผนภูมิที่ ๑ โครงสร้างขององค์กรของ Naval and Special Ship

ส่วนของงานระบบไฟฟ้าในเรือ จะอยู่ในส่วนของ Production Division Outfitting Department โดยมีหน้าที่รับผิดชอบ ดังนี้

๑. งาน Hot work เป็นงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการ ติดตั้ง รางสายไฟ จุดเชื่อมยึดสายไฟ ขาตั้งตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด ในขั้นตอนของการสร้างบล๊อคตัวเรือ นั้น จะดำเนินการติดตั้ง รางสายไฟ จุดเชื่อมยึดสายไฟ ขาตั้งตู้อุปกรณ์ไฟฟ้า ไปในคราวเดียวกับการสร้างบล๊อก เมื่อเชื่อมบล๊อกต่อกันแล้วเสร็จจะดำเนินการติดตั้งรางสายไฟที่เชื่อมระหว่างบล๊อกภายหลัง โดยในขั้นตอนนี้ จะดำเนินการติดตั้งตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ไปในคราวเดียวกัน สำหรับข้อกำหนดในการติดตั้งตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าตามบล็อกต่าง ๆ นั้น CM (Construction Manager) จะเป็นผู้กำหนดว่าอุปกรณ์ใดที่จำเป็นต้องติดตั้งก่อนการเชื่อมบล๊อกในแต่ละบล๊อกเนื่องจากบางอุปกรณ์มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก หากไม่ติดตั้งลงในบล๊อกก่อนแล้ว ในขั้นตอนของการเชื่อมบล๊อก อาจจะมีปัญหาต้องผ่าตัวเรือเพื่อติดตั้งตู้อุปกรณ์ ในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก (ข้อกำหนดของ DSME คือน้ำหนักไม่เกิน ๓๐ กก.) KP (Key person of Electric Outfitting part) จะดำเนินการพิจารณาติดตั้งภายหลังจากการเชื่อมบล๊อก ซึ่งหากมีข้อผิดพลาดในการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีน้ำหนักเกิน ๓๐ กก. ยังไม่ได้ติดตั้งลงในบล๊อกนั้น KP จะรายงานไปยัง CM เพื่อขอคำแนะนำสำหรับเส้นทางในการนำอุปกรณ์ลงไปติดตั้งต่อไป

๒. Cable pulling เป็นงานเดินสายไฟจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง ตามแบบแปลนการสร้างเรือ ซึ่งจะดำเนินการหลังจากเริ่มมีการเชื่อมบล๊อกกัน โดยมีข้อกำหนดว่างานเดินสายไฟฟ้า จะต้องแล้วเสร็จไม่น้อยกว่า ๘๐% ของงานเดินสายไฟฟ้าทั้งหมด จึงจะดำเนินการปล่อยเรือลงน้ำได้

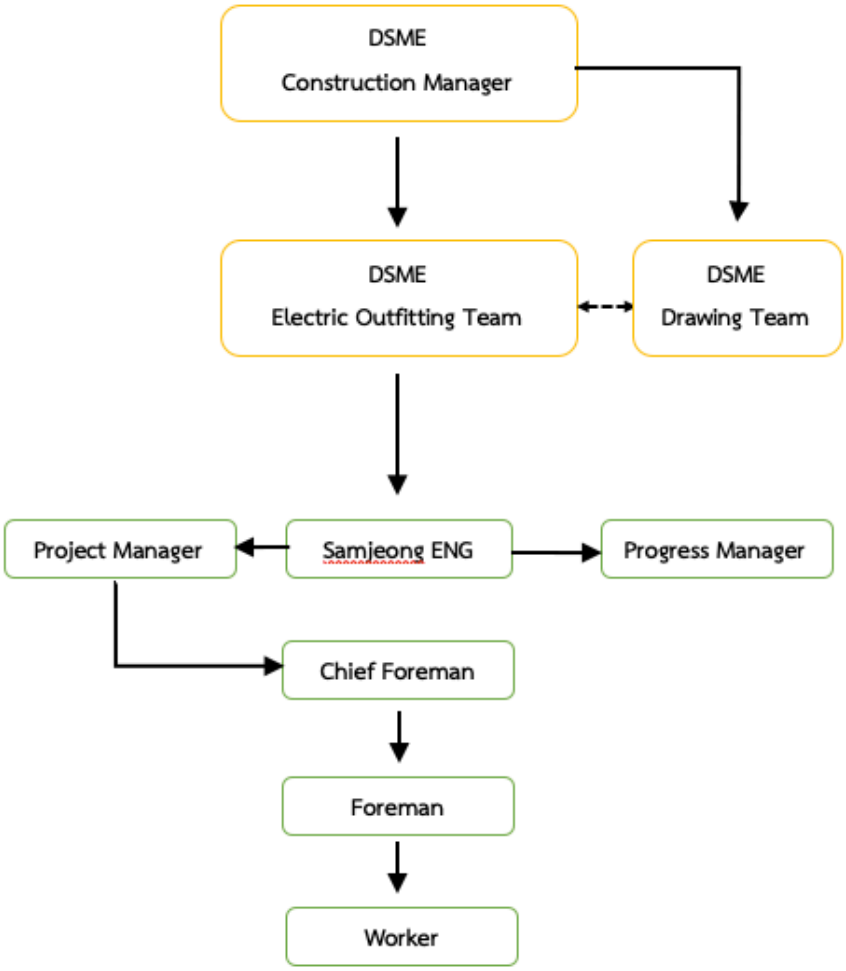
๓. Cable termination เป็นงานเชื่อมต่อสายไฟเข้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือตู้ควบคุมไฟฟ้าต่าง ๆ โดยหลักแล้ว งานเชื่อมต่อสายไฟไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น จะดำเนินการจุดแรกที่บล๊อกห้องเครื่องจักรที่ติดตั้งแผงสวิตช์บอร์ดหลักเป็นอันดับแรก ส่วนบล๊อกอื่น ๆ จะดำเนินการหลังจากที่การเชื่อมบล๊อกแล้วเสร็จ ซึ่งข้อกำหนดของ DSME ก่อนปล่อยเรือลงน้ำจะต้องดำเนินการเชื่อมต่อสายไฟไปยังระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ตลอดลำให้แล้วเสร็จ เพื่อให้มีแสงสว่างในการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ต่อไป

หลังจากขั้นตอนการเดินสายไฟและการเชื่อมต่อสายไฟไปยังตู้อุปกรณ์แล้วเสร็จในแต่ละห้องแล้ว KP จะมีหน้าที่แจ้งให้ฝ่าย QM (Quality Manager) ทราบ ทั้งนี้เพื่อให้มาดำเนินการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในการติดตั้งต่อไป

สำหรับการทำงานของ DSME ในโครงการสร้างเรือให้กองทัพเรือนั้น ในส่วนของงานระบบไฟฟ้าในเรือทาง DSME จะไม่ได้ดำเนินการเองทั้งหมด แต่จะใช้ลักษณะการจ้างบริษัท

ภายนอกเข้ามาดำเนินการประมาณ ๘๐% โดยอยู่ภายใต้การควบคุมของวิศวกร DSME ซึ่งงานที่จ้างดำเนินการได้แก่ งาน

Hot work, Cable pulling และ Cable termination อีก ๒๐% ซึ่งเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนใหญ่จะดำเนินการโดย DSME เอง สำหรับงานที่จ้างบริษัทภายนอก ทาง DSME จะทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของงานให้เป็นไปตามแบบการสร้างเรือที่กำหนด ตลอดจนจัดแผนงาน คำนวณชั่วโมงแรงงานที่ใช้ ให้เป็นไปตามแผนการสร้างเรือ



แผนภูมิที่ ๒ ผังการทำงานระหว่าง Electric Outfitting part ของ DSME และบริษัทภายนอก

ผังการทำงานตามแผนภูมิที่ ๒ ในส่วนของ Electric Outfitting part ของ DSME จะมี CM เป็นผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในกระบวนการสร้างเรือทั้งหมดทุกสาขา โดยมี KP เป็นผู้ควบคุมการปฏิบัติของบริษัทภายนอกทั้งหมด ซึ่งในส่วนของงานระบบไฟฟ้าในเรือ DSME ได้ว่าจ้างบริษัท Samjeong ENG มาดำเนินการในส่วนของงานระบบไฟฟ้าในเรือได้แก่ งาน Hot work, Cable pulling และ Cable termination โดยสายการปฏิบัติงานของ บริษัท Samjeong ENG จะมี Project Manager ทำหน้าดูแลงานโครงการทั้งหมด ควบคุม หัวหน้างานและคนงาน Progress Manager ทำหน้าที่ควบคุมขบวนการทำงาน ควบคุมแผนงานในการติดตั้งของบริษัท โดยจะแบ่งคนงานออกเป็นหลายกลุ่ม เพื่อทำหน้าที่ในแต่ละส่วนให้ดำเนินการไปพร้อม ๆ กัน

บริษัท Samjeong ENG จะคอยรับแผนการปฏิบัติงานจาก KP ของ DSME ในแต่ละเดือนต้องดำเนินงานใดบ้างและทุกวันศุกร์ทางบริษัท Samjeong ENG จะต้องรายงานผลการปฏิบัติให้ KP รับทราบ ทั้งนี้เพื่อให้ KP ตรวจสอบชั่วโมงการทำงานและดำเนินการจ่ายค่าแรงต่อไป โดยปกติแล้วชั่วโมงการทำงานที่บริษัทเสนอมา อาจจะสูงกว่าความเป็นจริง KP จึงมีหน้าที่ควบคุมจำนวนชั่วโมงการทำงานไม่ให้เกินกรอบที่ CM ได้กำหนดไว้ ในกรณีที่เกิดปัญหาในการทำงาน เช่น การติดตั้งท่อทางต่าง ๆ กีดขวาง รางสายไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ Foreman จะต้องรายงานไปยัง หัวหน้า Foreman จากนั้น หัวหน้า Foreman จะรายงานไปยัง Project Manager ของบริษัทและจะรายงานไปยัง KP ของ DSME ซึ่ง KP จะเข้ามาแก้ไขปัญหาโดยประสานกับฝ่ายออกแบบ เพื่อแก้ไขและยืนยันความถูกต้องของแบบอีกครั้ง

เนื่องจากจำนวนแรงงานในส่วนของ Electric Outfitting part ที่สังกัด DSME มีไม่เพียงพอ ทำให้ต้องเกิดการจ้างบริษัทภายนอกมาดำเนินการ โดยจะคงงานที่สำคัญๆ ไว้สำหรับให้ DSME ดำเนินการเอง ซึ่ง DSME จะมีหลักการจ้างบริษัทภายนอก ดังนี้

๑. จ้างโดยการจ่ายเป็นชั่วโมงแรงงาน วิธีการนี้ DSME จะเป็นผู้กำหนดแผนหลักในการทำงานให้กับบริษัทภายนอก บริษัทภายนอกจะมีหน้าที่ส่งแผนการทำงานวงรอบ ๒ สัปดาห์ให้ทาง KP เป็นผู้ตรวจสอบและจะต้องรายงานผลการปฏิบัติงานประจำสัปดาห์ให้ KP ทราบทุกวันศุกร์ เพื่อ KP จะได้รวบรวมจำนวนชั่วโมงทำงานและจ่ายค่าแรงประจำเดือนต่อไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว จำนวนชั่วโมงการทำงานที่บริษัทภายนอกรายงานให้ทาง KP ทราบนั้น จะได้ไม่เต็มจำนวนตามที่เสนอ โดยที่ KP มักจะจ่ายค่าแรงให้เพียง ๗๐% ของจำนวนชั่วโมงแรงงานที่ทำทั้งหมดภายใน ๑ เดือน

๒. จ้างโดยการเหมาเป็นระบบงาน วิธีการนี้ DSME จะใช้ลักษณะการจ้างเป็นระบบงาน เช่น จ้างเหมาติดตั้งรางสายไฟ ตามบล็อกต่าง ๆ หรือจ้างเหมาเดินสายไฟของระบบไฟฟ้ากำลัง ๔๔๐ โวลท์ เป็นต้น วิธีนี้มีข้อดีคือจ่ายเงินน้อยกว่าวิธีการในข้อ ๑ แต่ข้อเสียคือในบางงานอาจจะใช้เวลามากในการทำงานทำให้ต้องล่าช้ากว่าแผน

ในปัจจุบันทาง DSME ได้ผสมผสานกับจ้างทั้ง ๒ แบบไว้ด้วยกัน โดยคำนึงถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นหลักและ CM จะเป็นผู้ตัดสินใจว่าในแต่ละงานจะใช้วิธีใดเป็นวิธีการจ้าง

ในส่วนของบริษัท Samjeong ENG จะแบ่งความรับผิดชอบงานออกเป็น ๓ ส่วนด้วยกัน ดังนี้

– ส่วนที่ ๑ HOT WORK TEAM รับผิดชอบงานแล่นประสานกับตัวเรือที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าทั้งหมด ได้แก่ ฐานแท่นของตู้อุปกรณ์ไฟฟ้า (SEATTING) รางสายไฟ (CABLE TRAY, FLAT BAR) ตลอดจนงานแก้ไขที่ต้องแล่นประสานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าทั้งหมด

– ส่วนที่ ๒ CABLE PULLING TEAM รับผิดชอบงานเดินสายไฟทั้งหมด งานใส่ฉนวนสำหรับการร้อยสายไฟผ่านช่องผนังตัวเรือ (CABLE PENETRATION) งานติดตั้งเข็มขัดรัดสายไฟ (CABLE STRAP)

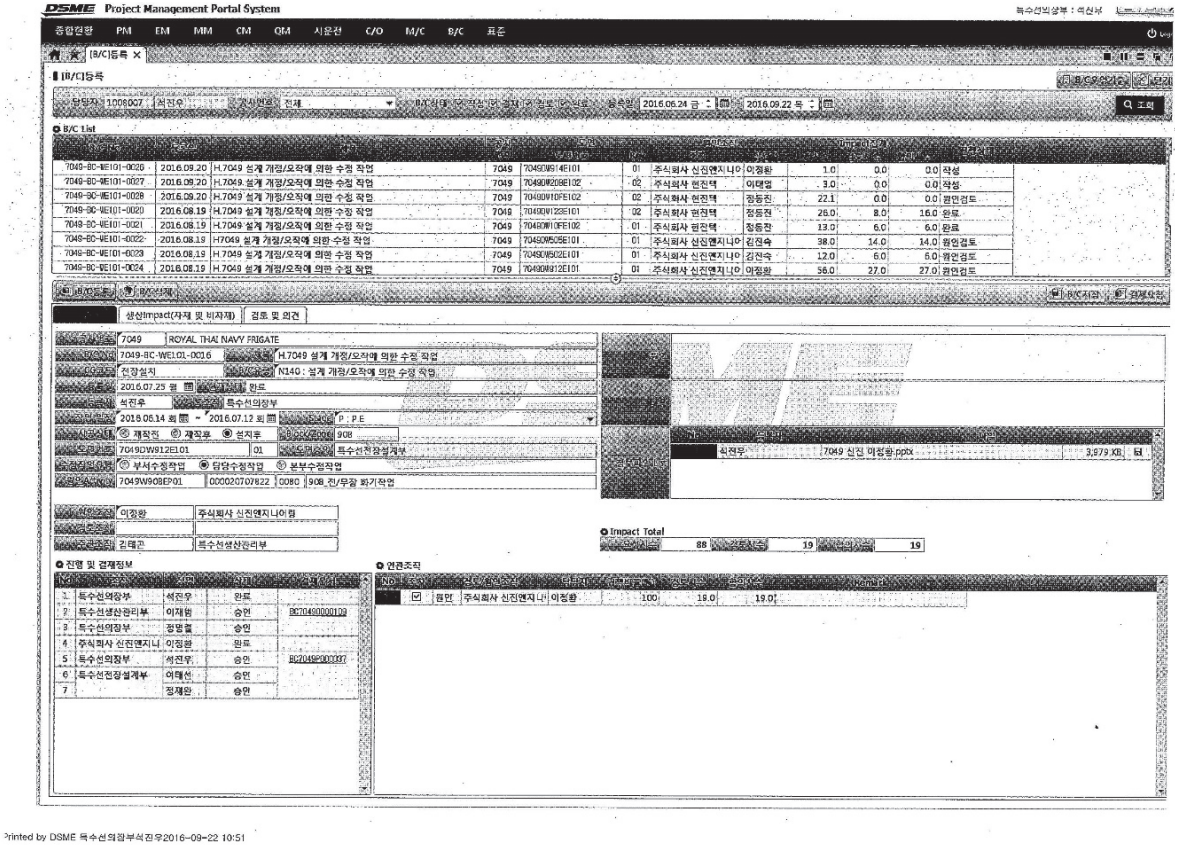
– ส่วนที่ ๓ CABLE TERMINATION TEAM รับผิดชอบงานเข้าหัวสายไฟทั้งหมด งานใส่ฉนวนสำหรับการร้อยสายไฟผ่านช่องตู้สวิตช์บอร์ด (MULTI CABLE TRANSITS) งานติดตั้งป้ายกำกับสายไฟ (CABLE TAG) งานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด เช่น โคมไฟ สวิตช์ไฟ เป็นต้น

โปรแกรมสารสนเทศที่ใช้ในการบริหารจัดการของ DSME

๑. DSME Project Management Portal System เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแจ้งทาง Drawing Team ของ DSME เพื่อแจ้งถึงปัญหาการทำงานที่เกิดขึ้นจากการออกแบบผิดพลาดและขอชั่วโมงการทำงานเพิ่ม

๒. DSME Advance View (Daview) เป็นโปรแกรมที่ฝ่ายสร้าง ใช้ตรวจสอบแบบกับฝ่ายออกแบบในกรณีเกิดข้อสงสัยในการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ และแจ้งถึงปัญหาการทำงานที่เกิดขึ้นจากการออกแบบที่ผิดพลาดตัวโปรแกรมเป็นลักษณะเดียวกับโปรแกรมประเภท 3D CAD ที่ได้รับการพัฒนาเพื่อแสดงภาพแบบ ๓ มิติ โดยดึงฐานข้อมูลมาจากโปรแกรม Aviva Marine และสามารถอ่านได้อย่างเดียวไม่สามารถแก้ไขได้

๓. Systems Applications and Products in Data Processing (SAP) เป็นโปรแกรมที่ DSME ใช้บริหารจัดการทรัพยากรในการสร้างเรือ โดยตัวโปรแกรมมีความสามารถระบุถึงรายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสร้างเรือ วันที่ต้องใช้ เพื่อให้ฝ่ายจัดซื้อสามารถจัดซื้อและส่งของได้อย่างตรงเวลาและยังสามารถตรวจสอบไปถึงบริษัทผู้ส่งสินค้าได้ ตลอดจนสามารถตรวจสอบวันที่เริ่มงานและวันที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วเสร็จ จำนวนชั่วโมงแรงงานที่ต้องใช้



ภาพที่ ๑ DSME Project Management Portal System software

มาตรฐานแรงงานต่อชั่วโมง

ในการปฏิบัติงานในการสร้างเรือของ DSME สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือจำนวนชั่วโมงแรงงานที่ใช้ เนื่องจากเป็นดัชนีชี้วัดผลงานที่เกิดขึ้นและค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป ซึ่งในส่วนนี้ DSME เองได้มีการกำหนดตารางมาตรฐานในการทำงาน เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการอ้างอิงการคำนวณค่าแรงงานและประสิทธิภาพการทำงานของบริษัทภายนอก ตามตารางที่ ๑ แต่อย่างไรก็ตามทาง DSME จะมีการปรับปรุงตารางมาตรฐานในการทำงานเสมอ เพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละโครงการ

Work	Type	Description	Unit	Man/Hour		
				D-Stage	PE-Stage	B-Stage
Hot Work	Seat	Less than 20 KG	EA	1.21	0.85	0.51
		20 - 50 KG	EA	2.33	1.63	0.58
		50 - 100 KG	EA	4.13	2.89	1.73
		More than 100 KG	EA	9.02	6.31	3.79
	Support	Less than 20 KG	EA	1.21	0.85	0.51
		20 - 50 KG	EA	2.33	1.63	0.98
		50 - 100 KG	EA	4.13	2.89	1.73
		More than 100 KG	EA	9.02	6.31	3.79
	Flat Bar	Every Size	EA	0.60	0.42	0.23
	Metal Tray	Less than 20 KG	EA	1.13	0.79	0.47
		20 - 50 KG	EA	1.99	1.39	0.83
		50 - 100 KG	EA	3.52	2.46	1.48
		More than 100 KG	EA	7.67	5.37	3.22
	Non Metal Tray	GRP (Glass Reinforced POLYESTER PIPE)	EA	1.87	1.31	0.79
		FRP (Fibre Reinforced Plastic)	EA	1.87	1.31	0.79
	Penetration	MCT(Main Cable Tray)/Coaming	EA	3.38	2.37	1.42
Equipment	Electrical Equipment	Less than 5 KG	SET	1.00	0.70	0.42
		5 - 20 KG	SET	2.02	1.41	0.85
		20 - 100 KG	SET	4.13	2.89	1.73
		100 - 500 KG	SET	13.52	9.46	5.68
		More than 500 KG	SET	30.06	21.04	12.62
	Bus Duct	Every Size	PCS	22.55	15.79	9.47
CABLE	Pulling	OD Less than 30 mm	Meter	0.12	0.12	0.07
		OD 30 - 50 mm	Meter	0.20	0.20	0.12
		OD Over 50 mm	Meter	0.38	0.38	0.23
		Heat Tracing cable	Meter	0.68	0.68	0.41
	Termination	Power Cable OD Less than 30 mm	Point	1.36	1.36	0.82
		Power Cable OD 30 - 50 mm	Point	1.47	1.47	0.88
		Power Cable OD Over 50 mm	Point	2.98	2.98	1.79
		High Voltage (3.3 KV)	Point	9.35	9.35	5.61
		Instrument Cable Less than 12 pair	Point	2.30	2.30	1.38
		Instrument Cable Over 12 pair	Point	3.68	3.68	2.21
		Special Cable	Point	2.50	2.50	1.50
Equipment	Electronic	EMS/IMC	Inspection	1.76	-	-
IR/Megger	Electronic	EIR	Inspection	1.30	-	-
Final Work		Cable Inspection	Inspection	0.10	-	-

ตารางที่ ๑ มาตรฐานแรงงานต่อชั่วโมงของ Electric Outfitting part DSME

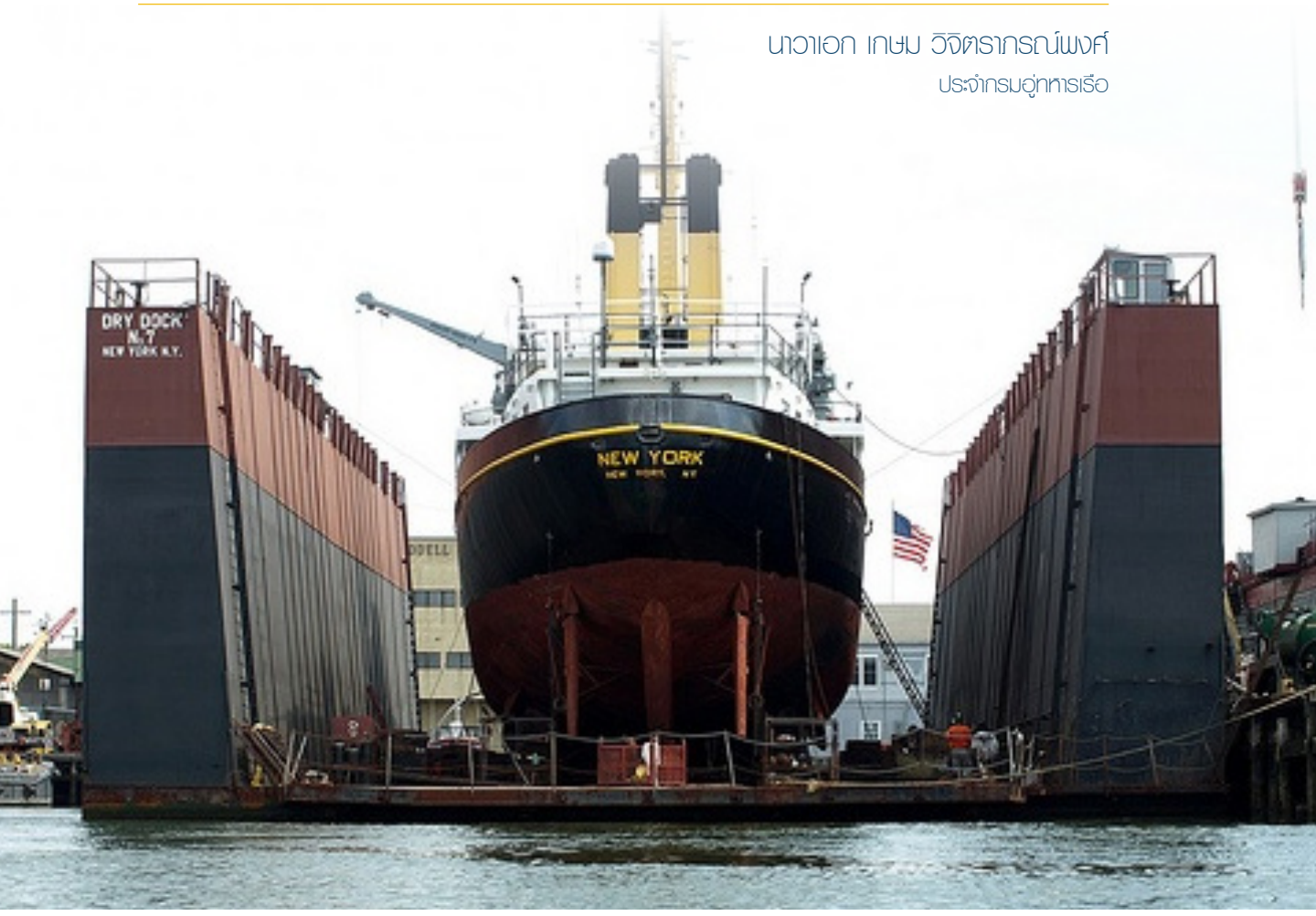
ในกรณีมีงานที่ต้องแก้ไขเกิดขึ้น จะเกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการแก้ไขงานให้เป็นไปตามแบบซึ่ง DSME จะเรียกว่าค่า Back Charge สำหรับค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ผู้รับผิดชอบได้แก่ผู้ที่ดำเนินการผิด เช่น ฝ่ายออกแบบจะรับผิดชอบหากออกแบบผิดหรือไม่ได้ส่งแบบที่ปรับปรุงแล้วเสร็จให้กับฝ่ายสร้าง หรือฝ่ายสร้างจะรับผิดชอบในกรณีที่ติดตั้งไม่เป็นไปตามแบบหรือติดตั้งไม่ครบ เป็นต้น โดยค่า Back Charge จะแสดงตามตารางที่ ๒

ประเภทงาน	หน่วยวัด	คน/ชั่วโมง
Hot work	๑ ชิ้น	๑.๖
Cable pulling	๑ เมตร	๐.๒
Cable termination	๑ จุด	๐.๖

ตารางที่ ๒ ค่า Back Charge

กระบวนการสร้างตัวเรือแบบทั่วไป กับเรือฟริเกตสมรรถนะสูง

นาวาเอก เกษม วิจิตราภรณ์พงศ์
ประจำกรมอู่ทหารเรือ



๑. บทนำ

ตามที่คณะรัฐมนตรีได้อนุมัติให้กองทัพเรือดำเนินการจัดหาเรือฟริเกตลำใหม่ทดแทนลำที่มีแผนจะปลดประจำการ ดังนั้นในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.๒๕๕๖ ทร. ได้ลงนามสัญญาจ้างสร้างเรือฟริเกตสมรรถนะสูงจาก บริษัท Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd. หรือ DSME ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี โดยมีระยะเวลาการสร้างพร้อมการทดสอบและการถ่ายทอดเทคโนโลยีสร้างเรือรวมทั้งสิ้นประมาณ ๑,๘๐๐ วัน

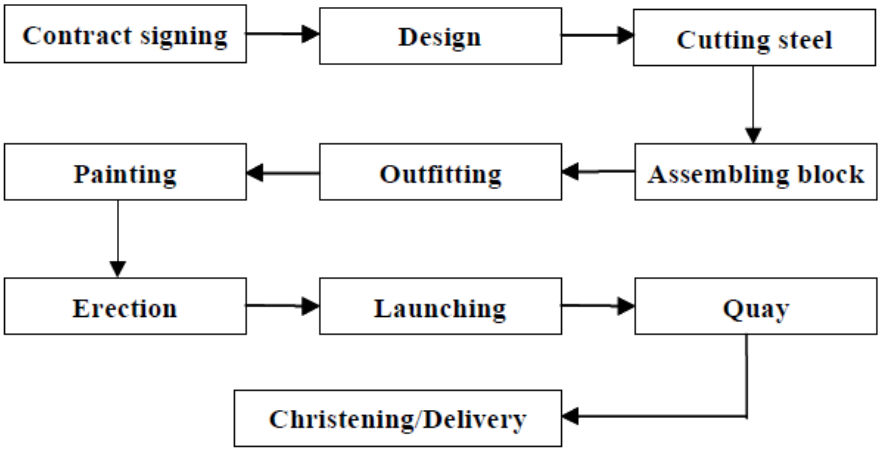
โครงการจัดหาเรือฟริเกตสมรรถนะสูงนี้ ได้มีการวางแนวทางการพัฒนาองค์ความรู้ให้แก่กำลังพลของ ทร. ในด้านการต่อเรือ โดยการถ่ายทอดเทคโนโลยีในขั้นการออกแบบ (Design) และขั้นการผลิต (Production) ตามสาขาต่างๆ ในลักษณะการฝึกงานหน้างาน (On the Job Training) หรือ OJT ในห้วงการสร้างและติดตั้งระบบต่างๆ ของเรือเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับการพึ่งพาตนเองในการสร้างเรือฟริเกตสมรรถนะสูงลำต่อไปด้วยฝีมือของกำลังพล ทร. เองให้ได้ในอนาคตอีกด้วย

สำหรับเรือฟริเกตสมรรถนะสูงลำนี้ได้รับการพัฒนาต้นแบบมาจากเรือพิฆาตชั้น Kwanggaeto Class Destroyer (KDX-I) มีคุณลักษณะทั่วไปคือความยาวตลอดลำ ๑๒๔.๑ เมตร ความกว้าง ๑๔.๔ เมตร มีระวางขับน้ำเต็มที่ ๓,๗๐๐ ตัน ความเร็วมัธยัสถ์ ๑๘ นอต ความเร็วสูงสุดไม่น้อยกว่า ๓๐ นอต มีระยะปฏิบัติการสูงสุดที่ความเร็วมัธยัสถ์ ๔,๐๐๐ ไมล์ทะเล มีระบบขับเคลื่อนเป็นแบบ CODAG (Combined Diesel and Gas turbine) คือ เครื่องจักรใหญ่ดีเซล ๒ เครื่อง (ตราอักษร MTU ขนาด ๕,๙๒๐๗ KW) สามารถทำงานได้พร้อมกับเครื่องกังหันก๊าซ ๑ เครื่อง (ตราอักษร GE ขนาด ๒๑,๖๐๐ KW) ระบบเกียร์ (Reduction Gear) จำนวน ๑ ระบบ (ตราอักษร RENK) ใบจักรแบบ CPP มีเพลาใบจักรจำนวน ๒ เพลา (ตราอักษร Rolls-Royce) มีอัตรากำลังพล ๑๔๑ นาย สามารถปฏิบัติการในทะเลได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีการส่งกำลังบำรุงถึง ๒๑ วัน

ในส่วนของการถ่ายทอดเทคโนโลยีขั้นการผลิตสาขาตัวเรือ (Hull Production) เป็นการอบรมในลักษณะ OJT มีวัตถุประสงค์ (Objectives) เพื่อให้กำลังพลมีองค์ความรู้สำหรับการสร้างตัวเรือ (Hull) มีขอบเขตของการอบรม (Scope of Study) ๓ ส่วน ได้แก่ การศึกษากระบวนการตัดแผ่นเหล็ก (Cutting Steel) กระบวนการประกอบบล็อกตัวเรือ (Assembling Block) และกระบวนการประกอบลำเรือ (Erection) โดยเรือลำนี้นอกจากได้รับการออกแบบและสร้างตามหลักการสร้างเรือสากลทั่วไปแล้วยังสร้างตามมาตรฐานทางทหารของกองทัพสหรัฐอเมริกาและมาตรฐานกองทัพเรือเกาหลีใต้ ซึ่งกระบวนการสร้างตัวเรือนั้นมีรายละเอียดที่น่าสนใจและช่วยเพิ่มพูนทักษะในด้านการสร้างเรือให้กับกำลังพลของกองทัพเรือได้เป็นอย่างดี

๒. กระบวนการสร้างตัวเรือแบบทั่วไป

นับตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมากรรมวิธีในการสร้างเรือได้มีวิวัฒนาการเปลี่ยนไปจากเดิมอย่างมากเนื่องจากสภาวะแวดล้อมทางการแข่งขันทางเศรษฐกิจของโลกเป็นแรงผลักดันที่สำคัญจนทำให้เกิดพัฒนาเทคโนโลยีในด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้มีความเจริญก้าวหน้าขึ้น เช่น การเชื่อมโลหะ การผลิตแผ่นเหล็กล้วนส่งผลโดยตรงสู่การพัฒนากระบวนการสร้างเรือซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีการเชื่อมโลหะที่มีประสิทธิภาพเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในขั้นตอนการสร้างเรือนั้น กระบวนการในขั้นการผลิตที่มีความสำคัญเริ่มตั้งแต่กระบวนการตัดแผ่นเหล็กเป็นส่วนประกอบย่อยต่าง ๆ ของตัวเรือ ก่อนที่จะถูกนำไปประกอบเป็นส่วนประกอบบล็อกตัวเรือที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีด้านการเชื่อม จนกระทั่งถึงขั้นตอนที่แต่ละบล็อกถูกนำไปประกอบเป็นลำเรือที่สมบูรณ์ในที่สุด เรียกวิธีการเหล่านี้ว่า วิธีการสร้างตัวเรือแบบบล็อก (Hull Block Construction Method) (ทรงศักดิ์, ๒๕๓๘) ในปัจจุบันอู่ต่อเรือชั้นนำของโลกได้นำกระบวนการสร้างเรือทั่วไป (General Construction Process) (Heemoon, Jangha and Sungsoo, ๒๐๐๒) มาใช้ในการสร้างเรือซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๑๐ ขั้นตอน ดังรูปที่ ๒.๑



รูปที่ ๒.๑ กระบวนการสร้างเรือทั่วไป (General Construction Process)

จากรูปที่ ๒.๑ กระบวนการสร้างเรือทั่วไป (General Construction Process) มีขั้นตอนหลักได้แก่

๒.๑ การลงนามสัญญา (Contract Signing) เป็นข้อตกลงในการสร้างเรือระหว่างคู่สัญญา

๒.๒ การออกแบบ (Design) คุณลักษณะและความต้องการด้านยุทธการที่ผู้ใช้ต้องการ

๒.๓ การตัดแผ่นเหล็ก (Cutting Steel)

๒.๔ การประกอบบล็อก (Assembling Block)

๒.๕ การประกอบท่อทางและอุปกรณ์ย่อยภายในบล็อก (Outfitting) เช่น ระบบท่อทาง รางสายไฟ เป็นต้น

๒.๖ การทำสี (Painting) เป็นการนำบล็อกไปเข้าสู่กระบวนการเตรียมพื้นผิว การพ่น และเคลือบสี

๒.๗ การประกอบลำเรือ (Erection)

๒.๘ การปล่อยเรือลงน้ำ (Launching)

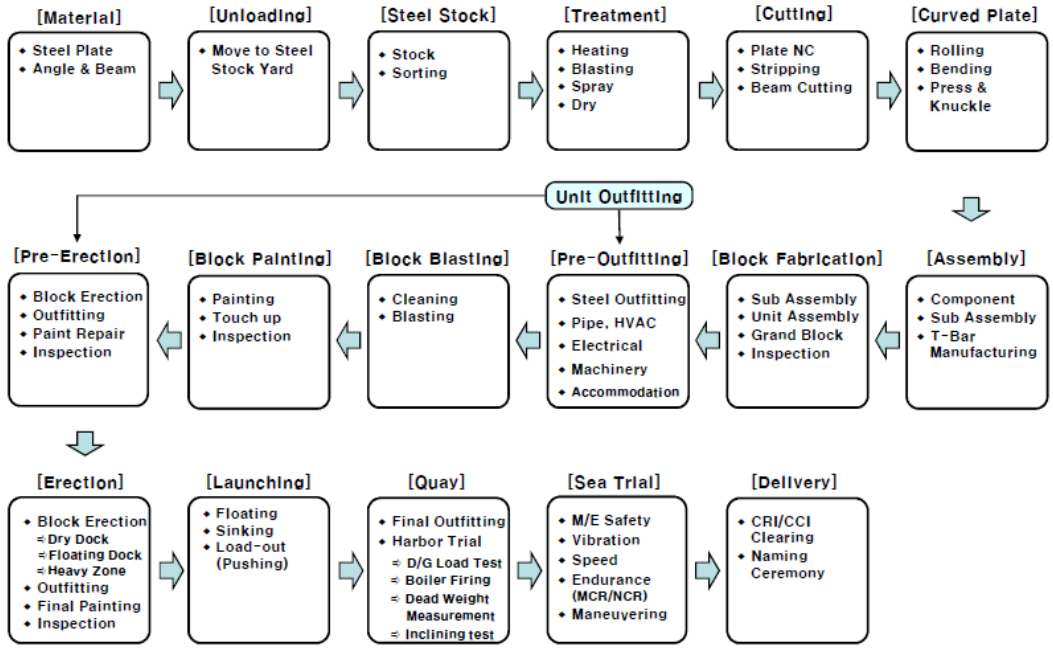
๒.๙ การทดสอบทดลองและติดตั้งระบบที่สำคัญต่าง ๆ หน้าท่าเทียบเรือ (Quay) เช่น ระบบอาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ งานประกอบสายไฟสายสัญญาณ การทดสอบระบบไฟฟ้า ฯลฯ เป็นต้น

๒.๑๐ การส่งมอบเรือ (Delivery) ให้กับผู้ว่าจ้างตามข้อกำหนด ตามคุณลักษณะการออกแบบ มาตรฐาน

กระบวนการสร้างเรือตามหลักสากลทั้ง ๑๐ ขั้นตอนนี้ ในส่วนของงานสร้างตัวเรือขั้นการผลิตประกอบไปด้วย ๓ ส่วน ได้แก่ การตัดแผ่นเหล็ก (Cutting Steel) เริ่มตั้งแต่การนำเข้าหรือจัดหาแผ่นเหล็กซึ่งเป็นกระบวนการจัดซื้อจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ หลังจากนั้นแผ่นเหล็กจะต้องถูกนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก่อนการตัด ดัด ม้วนและขึ้นรูปเป็นส่วนประกอบย่อยต่าง ๆ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการนำส่วนประกอบย่อยมาประกอบขึ้นรูปเป็นบล็อกตัวเรือ เช่น การประกอบแผ่นพื้นเปลือกเรือ ผนังฝากั้นตามบล็อกต่าง ๆ การประกอบแผ่นเสริมความแข็งแรงของบล็อก ขั้นตอนนี้เรียกว่า การประกอบบล็อกตัวเรือ (Assembling Block) จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นการเชื่อมประกอบตัวเรือซึ่งถือได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุดของกระบวนการสร้างเรือทั้งหมด (Tokola, Niemi and Remes, ๒๐๑๓) และกล่าวได้ว่าขั้นตอนนี้เป็น “คอขวด” ของกระบวนการสร้างเรือ นั่นคือขั้นตอนการประกอบลำเรือ (Erection) เป็นขั้นตอนที่บล็อกตัวเรือจะถูกนำมาเชื่อมประกอบเข้าด้วยกันเป็นลำเรือทั้งลำอย่างสมบูรณ์จนกระทั่งสามารถเตรียมปล่อยเรือลงน้ำได้เป็นครั้งแรก เหตุผลที่ถือว่าการประกอบลำเรือเป็น “คอขวด” ของกระบวนการสร้างเรือก็เนื่องจากว่า ในขั้นตอนนี้หากเกิดความล่าช้าขึ้นจะส่งผลให้กระบวนการสร้างเรือทั้งหมดไม่สามารถดำเนินการประกอบหรือติดตั้งสิ่งประกอบตัวเรือหรือยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ได้ตามแผนงานที่วางไว้

๓. กระบวนการสร้างตัวเรือฟริเกตสมรรถนะสูง

กระบวนการสร้างตัวเรือตามหลักสากลที่ประกอบด้วย ๑๐ ขั้นตอน การสร้างเรือฟริเกตสมรรถนะสูงของ ทร. ที่ดำเนินการโดยอู่ต่อเรือ DSME อู่ต่อเรือชั้นนำระดับโลกนั้นมีกระบวนสร้างเรือที่ได้รับการปรับปรุงพัฒนามาอย่างต่อเนื่องและมีชื่อเสียงเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมต่อเรือระดับโลก มีขั้นตอนการสร้างเรือฟริเกตสมรรถนะสูงให้กับ ทร. ตามลำดับการสร้างเรือ (Construction Sequence) ดังรูปที่ ๓.๑



รูปที่ ๓.๑ ลำดับการสร้าง (Construction Sequence) เรือฟริเกตสมรรถนะสูง

ตามรูปที่ ๓.๑ แสดงลำดับการสร้าง (Construction Sequence) เรือฟริเกตสมรรถนะสูงเป็นแนวทางการสร้างเรือให้ได้อย่างมีคุณภาพตามกระบวนการสร้างประกอบด้วย

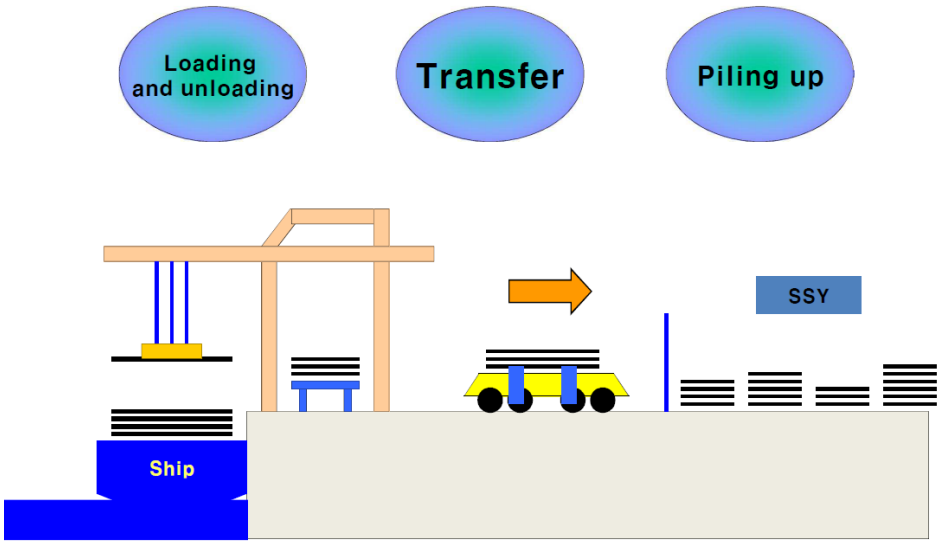
๓.๑ Material Processing เป็นการบริหารจัดการตลอดจนการเตรียมวัสดุและทรัพยากรณ์เริ่มต้นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในงานสร้างเรือ (DSME., ๒๕๕๘) ได้แก่ การเตรียมวัสดุ (Material) โดยเฉพาะแผ่นเหล็ก (Steel Plates) ขนาดต่างๆ แผ่นเสริมความแข็งแรง บีม (I-Beams) เป็นต้น ใช้วิธีการจัดหา/จัดซื้อและดำเนินการนำเข้าโดยวิธีการขนส่งทางเรือเป็นหลักจากนั้นแผ่นเหล็กจะถูกนำเข้าโรงงานตัด (Cutting Shop)

รูปที่ ๓.๒ การ Offloading ที่ Steel Stock Yard

๓.๒ การ Offloading เป็นขั้นตอนการส่งแผ่นเหล็ก Steel Plate, Angle , Beam ที่ลำเลียงเข้ามายังอู่ต่อเรือโดยเรือขนส่งสินค้า นำมาวาง (Unloading) ที่ Steel Stock Yard และมีเครนขนาดใหญ่ (Unloading Quay & Crane) ทำหน้าที่ขนถ่ายแผ่นเหล็กจากเรือสินค้า วางบนแท่นวางแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ หรือ Trestle (DSME., ๒๕๕๘)

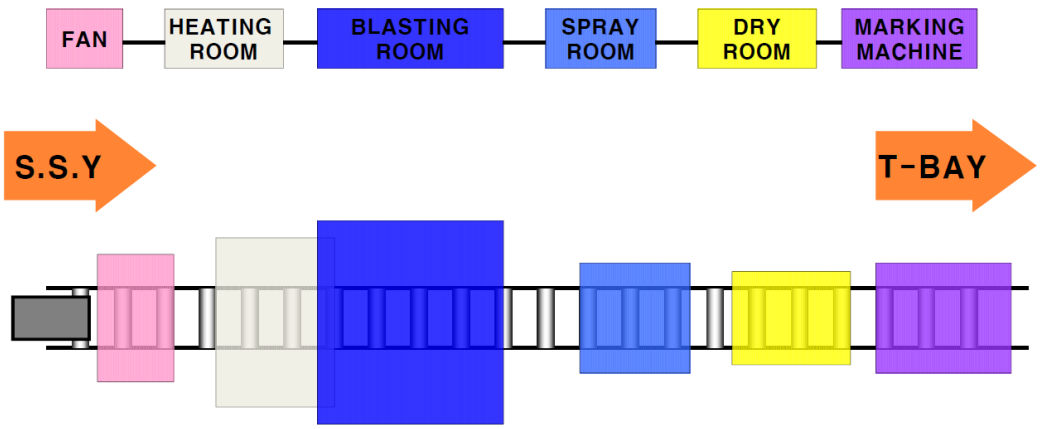
รูปที่ ๓.๓ เครนขนาดใหญ่ (Unloading Quay & Crane) ทำหน้าที่ขนถ่ายแผ่นเหล็กจากเรือสินค้า

๓.๓ กิจกรรมบน Steel Stock Yard นี้ประกอบด้วยการจัดเก็บแผ่นเหล็ก (Stock) และการจัดเรียงแผ่นเหล็ก (Sorting) โดยการจัดวางนี้จะวางเป็นกองซ้อนกันแยกประเภทและขนาดของแผ่นเหล็ก



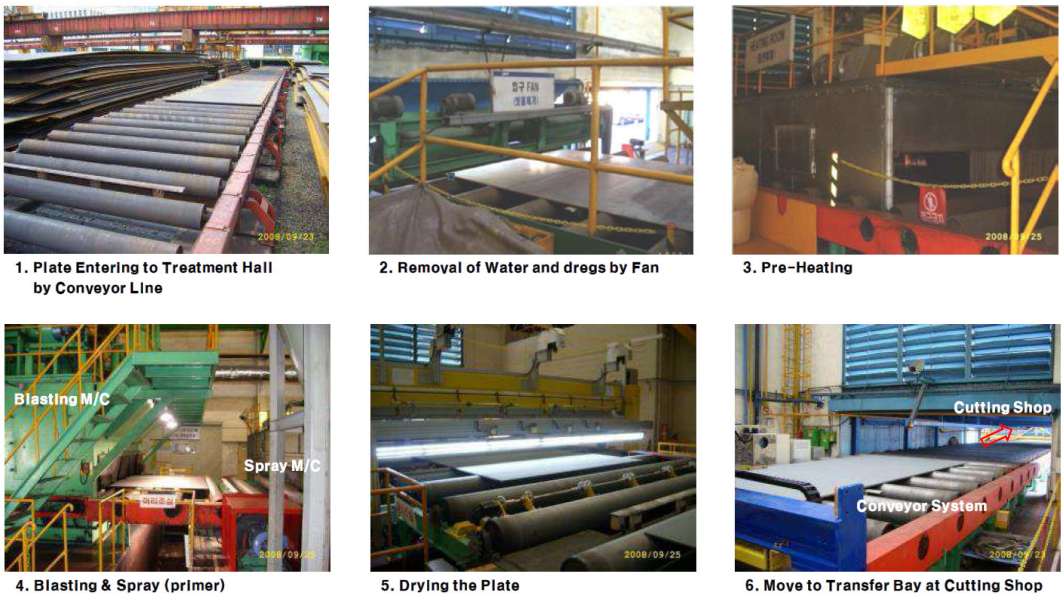
รูปที่ ๓.๔ กิจกรรมบน Steel Stock Yard

๓.๔ ขั้นตอนการ Treatment คือ ขั้นตอนการนำแผ่นเหล็กเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพโดยมีขั้นตอนสำคัญตามรูปที่ ๓.๕



รูปที่ ๓.๕ ขั้นตอนการนำแผ่นเหล็กเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

จากรูปที่ ๓.๕ กระบวนการ Treatment แผ่นเหล็กเป็นการเตรียมพื้นผิวเพื่อให้แผ่นเหล็กมีคุณสมบัติในการประกอบโครงสร้างตัวเรือหรือผนังฝากั้นต่างๆ ของเรือ (DSME., ๒๕๕๘) ได้แก่ การให้ความร้อน (Heating) การขัดผิวหน้า (Blasting) การฉีดพ่นสี (Spraying) และการอบให้แห้ง (Drying) ดังรูปที่ ๓.๖



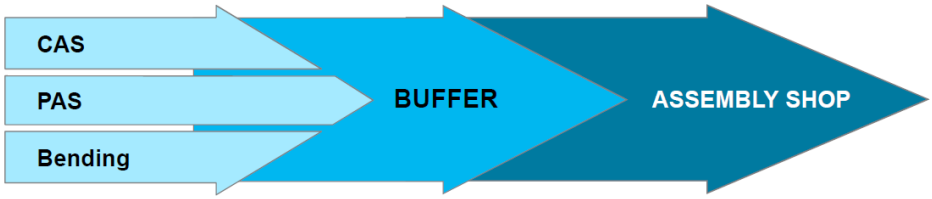
รูปที่ ๓.๖ กระบวนการ Treatment แผ่นเหล็ก

จากรูปที่ ๓.๖ โรงงานเตรียมพื้นผิวแผ่นเหล็กเพื่อให้แผ่นเหล็กมีคุณสมบัติในการประกอบโครงสร้างตัวเรือจากนั้นแผ่นเหล็กจะถูกส่งต่อไปตัดเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ตามเส้นลายแบบ (Mold line) ที่พิมพ์ลงบนพื้นผิวแผ่นเหล็กจากโรงงานเตรียมพื้นผิวด้วย

๓.๕ การตัด (Cutting) ส่วนประกอบย่อยตามเส้นลายแบบ (Mold line) เช่น Stripping, Beam เป็นต้น

รูปที่ ๓.๗ การตัด (Cutting) ส่วนประกอบย่อยตามเส้นลายแบบ (Mold line)

๓.๖ Block Fabrication & Pre-out fitting กระบวนการนำแผ่นเหล็กที่ผ่านการตัดชิ้นส่วนต่างๆ ตามแบบแล้ว นำมาเริ่มประกอบเป็นชิ้นส่วนย่อยหรือ Pre – Assembly ตามรูปที่ ๓.๘



รูปที่ ๓.๘ กระบวนการนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบชิ้นส่วนย่อยหรือ Pre – Assembly

ตามรูปที่ ๓.๘ เป็นการประกอบชิ้นส่วนย่อย หรือ Pre – Assembly ใน ๓ ลักษณะได้แก่

๓.๖.๑ การประกอบชิ้นส่วนย่อยที่ Component Assembly Shop หรือ CAS เป็นชิ้นส่วนย่อยที่มาประกอบรวมกันเป็นส่วนประกอบเล็กๆ

๓.๖.๒ การประกอบส่วนประกอบย่อย Pre – Assembly Shop หรือ PAS เช่น ส่วนประกอบผนังฝากั้นที่มีการเชื่อมงานเพียงด้านเดียว การเชื่อมส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อนกล่าวคือ งานที่ไม่ซับซ้อนหมายถึง ไม่มีการกลับด้านของส่วนประกอบนั้นมาเชื่อมด้านหลัง หรือเป็นการเชื่อมด้านเดียวนั่นเอง

๓.๖.๓ การดัดแผ่นโลหะ (Bending) เป็นการขึ้นรูปแผ่นเหล็กตัวเรือขนาดใหญ่ ตลอดจนงานเจียร์ลบความคมของแผ่นเหล็ก (Grinding)

๓.๖.๔ พื้นที่วางพักงาน Buffer เพื่อรอจัดส่งไปประกอบบล็อก (Assembling Block) ต่อไป

๓.๗ การประกอบบล็อก (Assembling Block)

การประกอบตั้งแต่ประกอบย่อย (Sub-Assembly) ไปจนถึงการประกอบขึ้นเป็นบล็อกใหญ่ (Final Block หรือ Grand Block) (DSME., ๒๕๕๘) มีโรงงาน ๓-Dimension Block Shop (3DS) เป็นหลัก แบ่งออกเป็น ๓ Bay ดังนี้

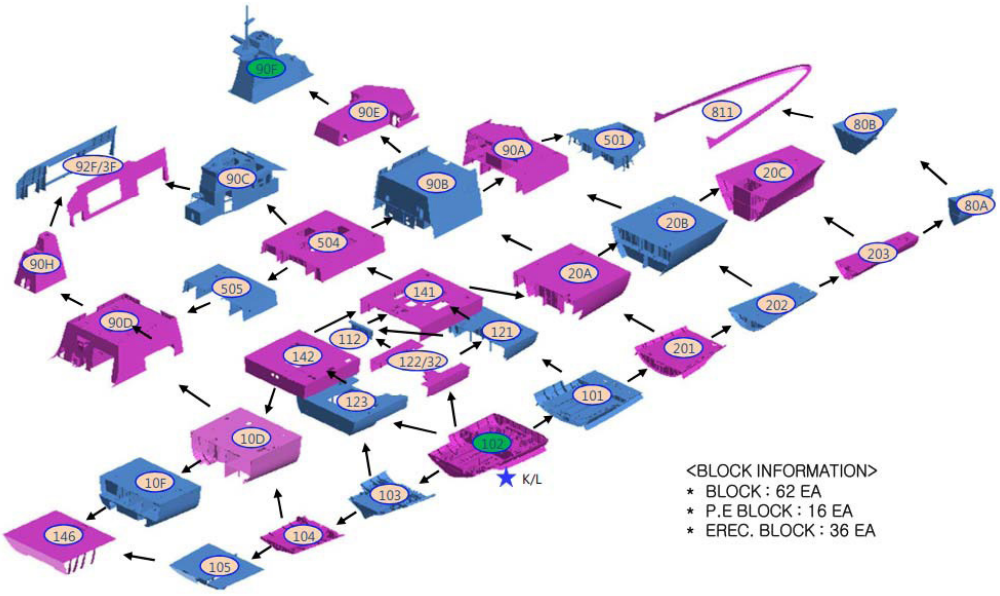
๓.๗.๑ Bay๑ ประกอบ Sub Assembly บน Pin Jig ที่สามารถปรับแต่งระยะความสูงได้ (Auto Pin jig) แบ่งงานออกเป็น ๓ stage คือ Stage ๑ ทำงานส่วนประกอบย่อยแผ่นโค้ง(Curve Base) ส่วนประกอบย่อยบล็อก (Block Base) และประกอบย่อยแผ่นตรง (Flat Base) Stage ๒ ทำงานเชื่อมแผ่นเหล็ก (Plate) ของส่วนประกอบฝากั้น และ Stage ๓ งาน Small Assembly

๓.๗.๒ Bay๒ ทำขั้นการประกอบย่อยเรียกว่า Unit Assembly บน Pin Jig ปรับแต่งระยะความสูงได้ รับงานที่ออกจาก Bay๑ มาทำกระบวนการหลัก ๒ งานคือ งาน Fitting Work และงาน Welding Work ได้แก่ งานเชื่อมติดตั้ง Flat Bar, Curve Bar การเชื่อมประกอบแผ่นเหล็กด้วยวิธี FGB การเชื่อมติดตั้ง Stiffeners และ T-Bars เป็นต้น

๓.๗.๓ Bay๓ ทำขั้นการประกอบใหญ่ เรียกว่า Grand Assembly โดยรับงานที่ออกจาก Bay๒ มาทำการประกอบขั้นสุดท้ายของกระบวนการประกอบบล็อกตัวเรือ โดยมีสิ่งอำนวยความสะดวกในโรงงานที่สำคัญคือ Pin Jig และเครนคล่อม (Overhead Hook Type Crane)

๓.๘ Block Painting เป็นการนำบล็อกไปเข้าสู่กระบวนการพ่นสี เริ่มตั้งแต่การเตรียมพื้นผิว การพ่นสีหรือเคลือบสี (DSME., ๒๐๑๓)

๓.๙ การประกอบลำเรือ (Erection) การนำบล็อกขนาดใหญ่และบล็อก PE มาเชื่อมต่อกันขึ้นเป็นลำเรือที่สมบูรณ์ วิธีนี้เรียกว่าการประกอบลำเรือ (Erection) (DSME., ๒๕๕๘) ดังรูปที่ ๓.๙



รูปที่ ๓.๙ บล็อกตัวเรือ ๓๖ บล็อก และบล็อก PE จำนวน ๑๖ บล็อก

จากรูปที่ ๓.๙ บล็อกเดี่ยวทั้งหมด ๖๒ บล็อก ถูกแบ่งเป็นบล็อกตัวเรือ ๓๖ บล็อก และบล็อก PE จำนวน ๑๖ บล็อก ก่อนนำมาเชื่อมต่อกันในการประกอบลำเรือ (DSME., ๒๕๕๘) (บล็อก PE คือ การเชื่อมต่อกันระหว่างสองบล็อกหรือหลายบล็อกเพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า การ “Pre-Erection หรือ PE”) มีกิจกรรมที่สำคัญดังนี้

๓.๙.๑ Block Setting กิจกรรมที่สำคัญคือการตรวจสอบความถูกต้องของขนาดมิติของบล็อก (Accuracy Checking) โดยใช้กล้อง Total Station หรือ Theodolite

๓.๙.๒ การ Fit up และ Welding มีดังนี้

๓.๙.๒.๑ การ Fit up มีขั้นตอนที่สำคัญคือ

๑) ตรวจสอบระยะห่างแนวเชื่อม (Gap Checking)

๒) ตรวจสอบแนวเชื่อมต่อบล็อก (Fillet Align Check)

๓) ตัดส่วนที่เผื่อระยะขอบบล็อก (Margin) ซึ่ง DSME มีข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานในการเผื่อระยะขอบบล็อกไว้ที่ ๑๐ มม.

๔) การปรับแต่งแนวผนัง (Alight Fit up) ให้อยู่บนเส้นลายพิมพ์ (Mold Line)

๕) การเชื่อมยึดหลังแนวเชื่อมแผ่นเปลือกเรือ (Back Bead Welding)

รูปที่ ๓.๑๐ การ Fit up ในการทำ Block Setting

๓.๙.๒.๒ กระบวนการเชื่อม (Welding Process) ตามมาตรฐาน Daewoo Shipbuilding Quality Standard (DSQS, ๒๐๑๓) ข้อกำหนดตามมาตรฐานที่ระบุใน DSQS (DSME., ๒๕๕๘) ได้แก่

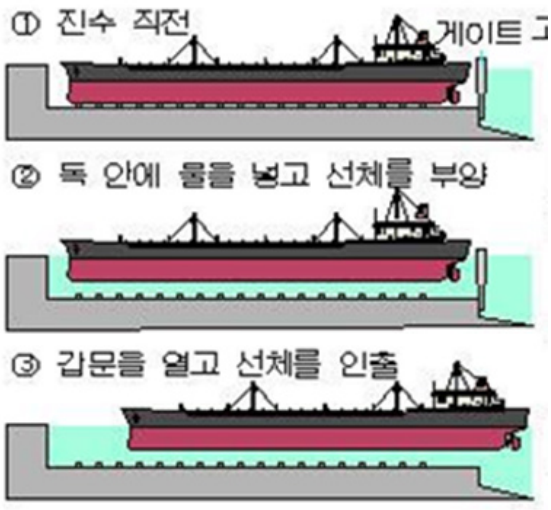
๑) การเตรียมการก่อนการเชื่อม (Preparation before Welding) การตรวจสอบที่สำคัญ (Major Check Points) เช่น การผ่านคุณสมบัติฝีมือช่างเชื่อม การตรวจสอบระยะขอบ มิติและรูปร่างของบล็อก การรื้อถอนเสาค้ำและ strong-back ป้องกันการ deformation เป็นต้น

๒) การเชื่อม (Welding) มีจุดตรวจสอบที่สำคัญ (Major Check Points) เช่น ระยะช่องว่าง (Gap) การเชื่อม

๓) การตรวจสอบรอยเชื่อม (Inspection on Weld Parts) เพื่อรับรองคุณภาพรอยเชื่อมตรวจสอบรอยบกพร่องในการเชื่อม เช่น crack, undercut, crater เป็นต้น มีวิธีการตรวจคือ การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) และ การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non-destructive examination)

๓.๑๐ การปล่อยเรือลงน้ำ (Launching) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการสร้างเรือ

วิธีการปล่อยเรือฟริเกตสมรรถนะสูงลงน้ำใช้วิธีการปล่อยลอย (Float-out launching) (DSME., ๒๕๕๘) ดังรูปที่ ๓.๑๑



รูปที่ ๓.๑๑ รูปแบบการปล่อยเรือลงน้ำ (Launching) แบบวิธีการปล่อยลอย (Float-out launching)

หลังจากประกอบลำเรือบริเวณ Skid Way การปล่อยเรือกระทำโดยเลื่อนเรือที่ประกอบลำเรือเรียบร้อยแล้วเข้าไปยังเรือบาจช์ จากนั้นปล่อยน้ำเข้าระวางเรือบาจช์จนเรือที่เลื่อนเข้ามาในระวางลอยน้ำ แล้วจึงนำเรือที่ต่อใหม่เลื่อนออกไปจอดที่ท่าเทียบเรือเพื่อดำเนินการขั้นตอนติดตั้งระบบอาวุธและอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนทำการทดสอบระบบในท่าเรือ (Quay) และทำการทดลองเรือในทะเล (Sea Trial) ก่อนส่งมอบเรือตามสัญญา (Delivery) ต่อไป

บทสรุป

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการสร้างเรือฟริเกตสมรรถนะสูงขั้นการผลิตสาขาตัวเรือในครั้งนี้ ทำให้กำลังพลได้มีความรู้ความเข้าใจถึงกระบวนการขั้นตอนการสร้างเรือตามหลักการสร้างเรือทั่วไปและการสร้างเรือตามมาตรฐานทางทหารของอู่ต่อเรือชั้นนำระดับโลกใน ๓ กระบวนการ คือ กระบวนการตัดแผ่นเหล็ก กระบวนการประกอบบล็อกตัวเรือและกระบวนการประกอบลำเรือ ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่ากำลังพลของกองทัพเรือมีองค์ความรู้และมีขีดความสามารถในการสร้างเรือฟริเกตสมรรถนะสูงลำต่อไปได้เองในอนาคตอย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

DSME. 7049-DSM-RTN-OJT-G-012 Introduction Of Cutting. [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2558] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func= OdimsUtils. portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-014 Ship Construction Process. [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2558] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func= OdimsUtils.portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-068 Understanding Assembly. [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 ธันวาคม 2558] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func= OdimsUtils. portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-097 Cutting Plan. [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func=OdimsUtils. portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-126 What is Erection. [online] 2558. [สืบค้น เมื่อ 11 เมษายน 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func=OdimsUtils. portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-128 Erection Setting1. [online] 2558. [สืบค้น เมื่อ 14 เมษายน 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func=OdimsUtils. portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-134 Erection Setting2. [online] 2558. [สืบค้น เมื่อ 19 เมษายน 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func= OdimsUtils. portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-135 Erection Fit Up. [online] 2558. [สืบค้น เมื่อ 20 เมษายน 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func=OdimsUtils. Portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-144 OJT Material-Erection (20160504). [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi. dll?func= OdimsUtils.portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-149 OJT Material Hull production. [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 16 พฤษภาคม 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?-func= OdimsUtils.portalmain

_____. 7049-DSM-RTN-OJT-G-155 Erection reference. [online] 2558. [สืบค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2559] จาก http://dims-offshore.dsme.co.kr/llisapi.dll?func= OdimsUtils.portalmain

Heemoon Kim, Jangha Kang and Sungsoo Park. Scheduling of Shipyard Block Assembly Process Using Constraint Satisfaction Problem. Asia Pacific Management Review (2002) 7(1), 119-138.

Henri Tokola, Esko Niemi and Heikki Remes. Block Erection Sequencing in Shipbuilding With General Lifting and Joining Times. Journal of Ship Production and Design, Volume 29, Number 2, May 2013, pp. 49-56(8).

Quality Management Team. DAEWOO SHIPBUILDING QUALITY STANDARD: DSQS. Doc. No.: DSE-QS-01 Rev. No.: 16, Published in January, 2013.

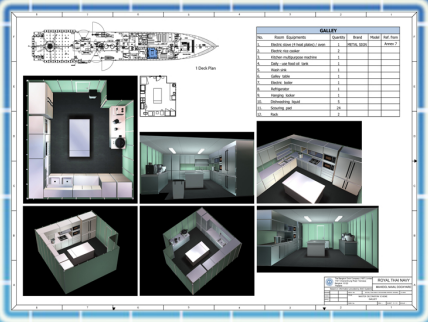
Committee of quality and inspection standard for Ships painting DSME. DSME QUALITY & INSPECTION STANDARD FOR SHIP'S PAINTING (QISSP). September, 1987.

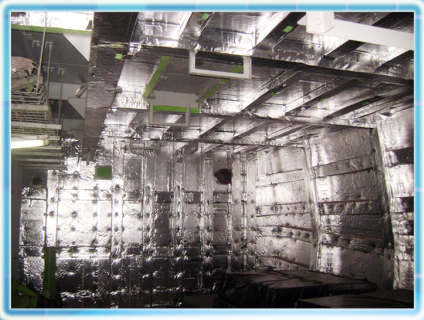
Daewoo Shipbuilding Quality Standard (DSQS), 2013.

ทรงศักดิ์ กิตติพีรชล, น.อ. เอกสารวิชาการ เรื่อง การต่อเรือทางปฏิบัติ เล่มที่ ๔ การประกอบตัวเรือ. มกราคม ๒๕๓๘, อ้างถึงใน Shipbuilding Technology Series (Hull Construction Part).

www.invincible.co.th

- PIPING SYSTEMS
- PANEL & CEILING
- INSULATIONS
- DECK COVERING
- INTERIOR DESIGN
- MOTOR BOAT





INVINCIBLE CO., LTD.
347/10 Moo 6 Phaholyothin Road, Saimai, Saimai, Bangkok 10220 Thailand.
Tel. 02-5338501-3 Fax. 02-5319855

บริษัท อู่กรุงเทพ จำกัด

รัฐวิสาหกิจในความควบคุมดูแลของกองทัพเรือ สังกัดกระทรวงกลาโหม

วิสัยทัศน์

"เป็นอู่เรือที่มีศักยภาพในการบริหารจัดการระดับสากล
เติบโตและเป็นกลไกสำคัญ
ในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
และพาณิชย์นาวีของไทย สามารถพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน"

พันธกิจ

1. ให้บริการต่อเรือ ซ่อมเรือ ซ่อมบำรุงยุทโธปกรณ์ และจัดส่งพัสดุให้แก่กองทัพเรือ
2. ให้บริการต่อเรือ ซ่อมเรือของหน่วยข้าราชการ รัฐวิสาหกิจ และเอกชน
3. ขยายกิจการโดยการสร้างอู่เรือแห่งใหม่บริเวณชายทะเล
4. ขยายกิจการในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ การต่อเรือเฉพาะทาง และการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ เพื่อความมั่นคงทางการเงินในระยะยาว
5. บริหารจัดการเพื่อมุ่งสู่การเป็นองค์กรแห่งความเป็นเลิศ
6. ดำเนินกิจการตามหลักการกำกับดูแลที่ดีและมีความรับผิดชอบต่อสังคม และสิ่งแวดล้อม รวมถึงการป้องกันและปราบปรามการทุจริตและประพฤติมิชอบอย่างเคร่งครัด

หลักธรรมภิบาล

บริษัทอู่กรุงเทพยึดมั่นในคุณธรรม และ จริยธรรม

ค่านิยมองค์กร

"แสวงหาโอกาสทางธุรกิจ สั่งสมความเชี่ยวชาญทางอาชีพ
สร้างสรรค์นวัตกรรมสู่ความยั่งยืน"

รัฐวิสาหกิจในความควบคุมดูแลของกองทัพเรือ สังกัดกระทรวงกลาโหม
Stata Enterprise, Controlled by Royal Thai Navy, Ministry of Defense
ที่อยู่ : 174/1 ถนนเจริญกรุง แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทร: 02-3078576 แฟกซ์ : 02-3078576

YOUR PARTNER FOR NAVAL SHIPBUILDING.

DAMEN SIGMA 10514 PKR FRIGATE, PT-PAL INDONESIA

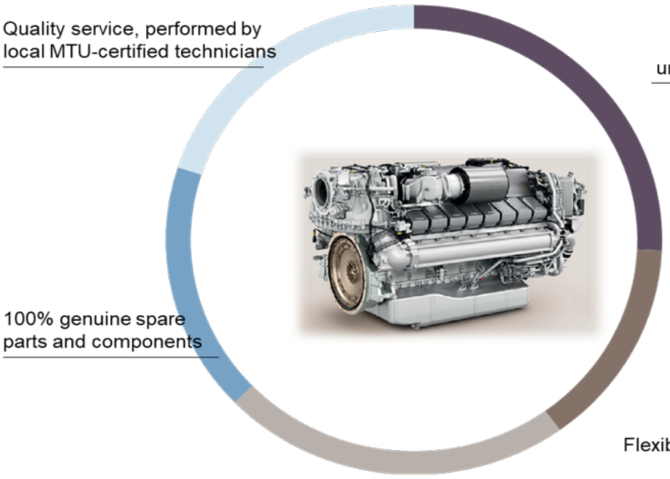
DAMEN - building naval vessels at a location of your choosing

The Damen SIGMA frigates are of a modular design and are modularly built. This enables Damen to build its frigates anywhere in the world.

DAMENNAVAL.COM

DAMEN

MPower Engineering



- RTN 53BP TUG BOAT MTU Series 4000
- CATAMARAN DMCR MTU Series 2000
- Speed Ferry MTU Series 4000
- RTN Patrol Gun Boat MTU Series 4000
- Spare Parts
- Offshore Oil & Gas MTU Series S60, Series 2000, Series 4000

MPower Engineering Co., Ltd.
บริษัท เอ็มเพาเวอร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
MTU Distributor
109/95 Moo 21 T.Bangplee Yai, A.Bangplee Samutprakarn 10540 Thailand
109/95 หมู่ที่ 21 ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
Phone +662 130 7142-43 Fax +662 130 7164
www.m-power.co.th Email: info@m-power.co.th

mtu A Rolls-Royce solution

R.P.S. SUPPLY CO.,LTD.

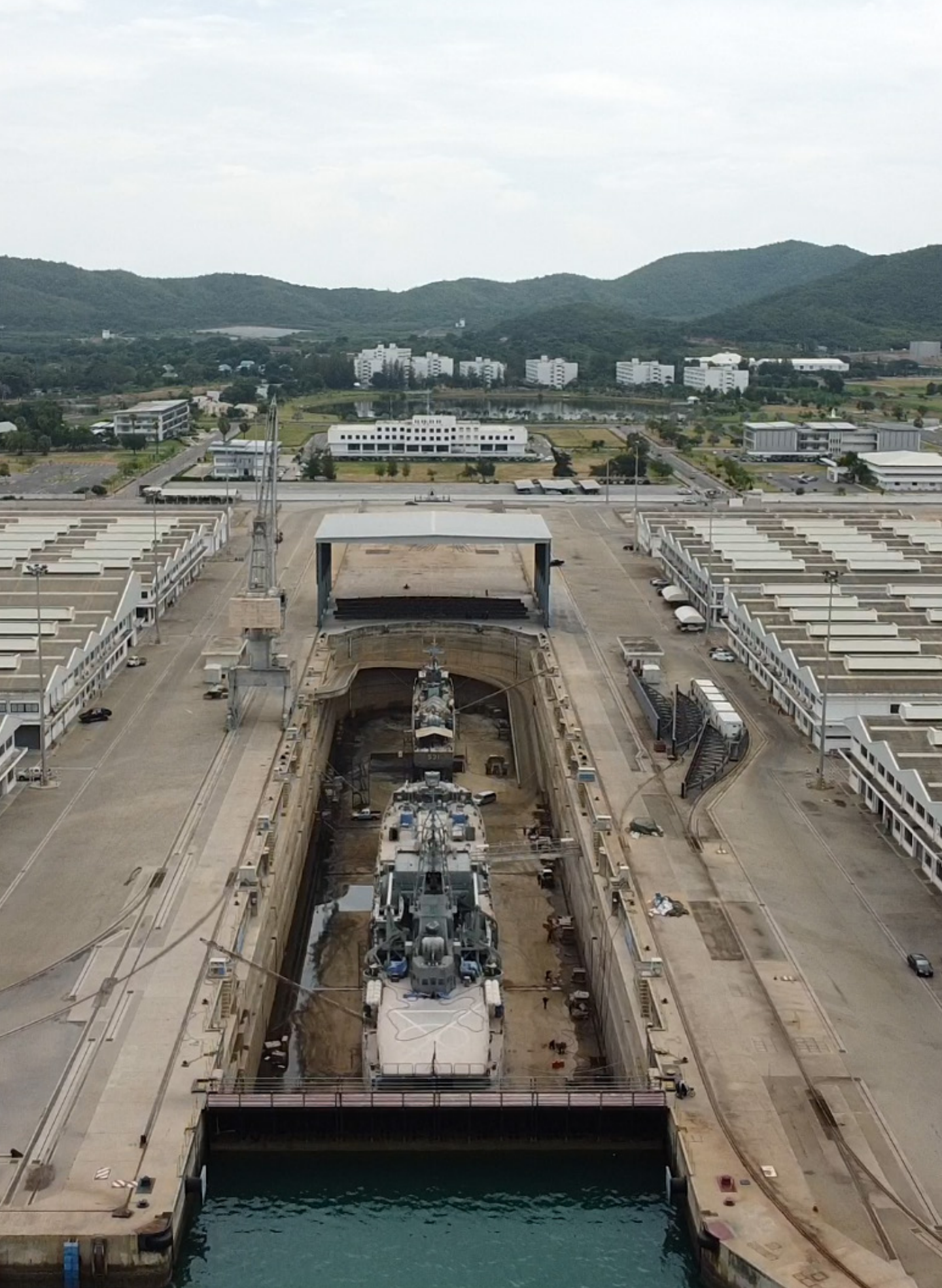
12 ซอยสะแกงาม 17 แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150
12 Soi Sakaengam 17, Samaedam, Bangkhuntien, Bangkok 10150

บริษัท อาร์.พี.เอส.ซัพพลาย จำกัด
R.P.S. SUPPLY COMPANY LIMITED

ลวดเชื่อม เครื่องเชื่อมทุกชนิด ตัดพลาสม่า ซีเอ็นซีระบบแก๊ส เลเซอร์ ตัด พับ ม้วน อุปกรณ์การเชื่อมทุกชนิด

Umini · HiTronic · HUAWEI · KEMPPI · OREE LASER · 24MT
HILALSAN · OSTAŞ · SOLDAMATIC · makute · PEGATEC · ESAB

R.p.s.supply Co.,ltd · LINE @rpssupply · 081-344-6969, 089-944-2898, 081-988-1141 · www.rpssupply.com



ISSN : 0857-4766