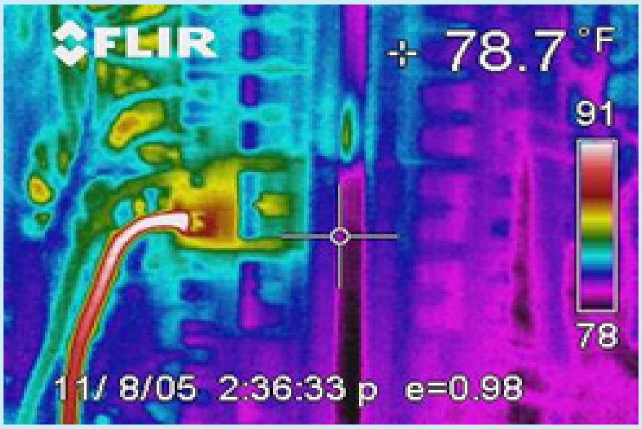
CBM คืออะไร

CBM เป็นวิธีบำรุงรักษาอุปกรณ์เครื่องจักรอย่างเหมาะสมตามสภาพและเวลา กลยุทธ์การบำรุงรักษาตามสภาพจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีพื้นฐานอยู่ที่ข้อมูลปัจจุบันและอดีตย้อนหลัง เพื่อที่จะกำหนดความสำคัญในการบำรุงรักษาให้ดีที่สุด โดยอาศัยสัญญาณเตือนจากเครื่องจักรซึ่งโดยทั่วไปเครื่องจักรจะให้สัญญาณเตือนก่อนที่เครื่องจักรจะเสียหายเช่น ความร้อน เสียง การสั่นสะเทือน เศษผงโลหะต่าง ๆ ถ้าหากเราสามารถตรวจสอบสัญญาณเตือนจากเครื่องจักรได้ เราก็สามารถที่จะกำหนดการบำรุงรักษาที่จำเป็นก่อนที่เครื่องจักรเหล่านั้นจะเกิดความเสียหาย ทำให้เราลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้ เช่น การเปลี่ยนยางรถยนต์โดยดูตามสภาพของดอกยางว่าสึกมากน้อยแค่ไหน หรือเนื้อยางมีสภาพเปลี่ยนแปลง บวม/แข็ง แล้วจึงค่อยตัดสินใจเปลี่ยน สิ่งที่สำคัญของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ คือ เราต้องเลือกเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับชนิดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ๆ และต้องกำหนดความถี่ในการตรวจสอบให้เพียงพอที่จะสามารถตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นได้ การตรวจสภาพรวมของเครื่องจักรจะใช้ระบบตรวจวัดบันทึกข้อมูล วิเคราะห์ผล และประเมินหาสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาเท่าที่จำเป็น

ดังนั้น CBM มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือตรวจวัดรวมทั้งเครื่องมือพิเศษสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ไว้ใช้สำหรับเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงและผู้ที่เกี่ยวข้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนว่าอุปกรณ์ชนิดใดที่มีความสำคัญที่จะลงทุนติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแบบประจำที่หรือความถี่ในการตรวจสอบ แม้ว่าอุปกรณ์บางชนิดสามารถตรวจวัดค่าต่าง ๆ ออกมา อาทิ เช่น ค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ หรือ ความดัน แต่ค่าเหล่านี้ถ้าหากจะนำมาแปลผลออกมาเป็นสภาพเครื่องจักร ก็ไม่ใช่เรื่องง่ายนักประโยชน์ที่เห็นได้ชัดจากกลยุทธ์ CBM คือ ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ลดการเสียหายของเครื่องจักร เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์มากขึ้น เมื่อเทียบกับการบำรุงรักษาเพื่อป้องกัน แต่เราจำเป็นที่จะต้องลงทุนในการจัดหาเครื่องมือและเทคโนโลยี ซึ่งต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญเฉพาะทางจากภายนอกเข้ามาแนะนำการตรวจสอบซึ่งเครื่องมือบางตัวค่าใช้จ่ายจะค่อนข้างสูงมากจึงไม่คุ้มต่อการลงทุน นอกจากนี้หลังจากซื้อเครื่องมือมาแล้วเราอาจต้องลงทุนเกี่ยวกับการฝึกอบรมบุคลากรเพื่อให้มีความสามารถในการใช้เครื่องมือซึ่งค่าใช้จ่ายอาจอยู่ที่ประมาณ 10 % ของราคาเครื่องมือที่จัดซื้อเครื่องมือ

เทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสภาพเครื่องจักรมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ที่ค่อนข้างจะแพร่หลายในบ้านเรา เช่น การตรวจสภาพ เครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน ด้วยการใช้ Vibration Analysis การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน เป็นการตรวจสอบความผิดปกติและความเสียหายของเครื่องจักรเชิงกลเป็นส่วนใหญ่ โดยมีเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Analyzer) เป็นตัวเก็บข้อมูลและแปลงเป็นข้อมูลทางความถี่ ซึ่งเราสามารถทราบถึงปัญหาของเครื่องจักรได้จากความถี่ที่เราเก็บ ดังนั้นคนที่จะสามารถอ่านข้อมูลทางความถี่และประเมินผลได้ต้องมีความเข้าใจเรื่องของการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน ถึงจะสามารถประเมินผลระดับความรุนแรงของและหาสาเหตุของการเสียหายได้ เพื่อจะนำข้อมูลไปวางแผนการซ่อมทำและจัดเตรียมอะไหล่ต่อไป

การตรวจสภาพเครื่องจักรจากอุณหภูมิ ด้วยการใช้ Infrared Thermography กล้องถ่ายภาพทางความร้อนเป็นเทคโนโลยีที่ใช้บอกสภาพของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและทางกล โดยไม่ต้องสัมผัสเครื่องจักรที่ทำให้เราเห็นสภาพของเครื่องจักร ระบุปัญหาโดยการตรวจสอบความผิดปกติของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทำให้เราสามารถวิเคราะห์แก้ไขปัญหาได้ทันที ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้จะมีประโยชน์มากในการนำไปตรวจสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ในปัจจุบันนี้มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายมากในหลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ปิโตรเคมีคอล ยานยนต์ เป็นต้น



การตรวจสภาพเครื่องจักรด้วยสายตาโดยการใช้ Stroboscope คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสภาพเครื่องจักรจากการมองเห็นขณะเครื่องจักรทำงาน ใช้วิธีการปล่อยแสงที่เท่ากับความเร็วรอบของเครื่องจักร จึงทำให้เราสามารถมองเห็นภาพเสมือนหยุดนิ่ง เราจึงสามารถตรวจสอบสภาพเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนหมุนได้ในขณะทำงาน ใช้ในการตรวจสอบสภาพสายพาน ใบพัดลม คับปลิ้ง และชิ้นส่วนหมุนอื่น ๆ อีกจุดประสงค์หนึ่งของ Stroboscope คือ ใช้ในการวัดความเร็วรอบของเครื่องจักร

การตรวจสภาพเครื่องจักรจากการฟังสัญญาณคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic) โดยการใช้หลัก Acoustic Emission คือ การเกิดคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของการปล่อยพลังงานคลื่นยืดหยุ่น เมื่อเกิดวัสดุเกิดความเสียหายในระดับไมโครสโคปิก ซึ่งพบได้ส่วนมากในกระบวนการของการเริ่มต้นของรอยแตก การสึกหรอ การขัดถูของผิวโลหะ และสามารถใช้ในการตรวจสอบวิเคราะห์ปัญหาการรั่วซึม ตาม ข้อต่อ, ท่อทาง และลิ้น โดยการเปลี่ยนหัวรับคลื่นสัญญาณ Ultrasonic ชนิด Airborne

การตรวจสภาพเครื่องจักรจากสารหล่อลื่นด้วยการใช้ Oil Analysis การวิเคราะห์น้ำมัน (Oil Analysis) สามารถบอกถึงสมรรถนะหรือสภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ จากการตรวจสอบสภาพการสึกหรอ การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น และสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนต่าง ๆ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่นที่จะตรวจสอบนำไปตรวจสอบหาคุณสมบัติของสารหล่อลื่นและทำการวิเคราะห์เศษโลหะ เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของการเสียหายและระดับความรุนแรง ประโยชน์ที่ได้รับ คือ เราเปลี่ยนน้ำมันตามสภาพแท้จริงของน้ำมัน จะทำให้มีการใช้น้ำมันได้อย่างคุ้มค่าและมีผลทำให้เครื่องจักรมีอายุการใช้งานมากขึ้น

การซ่อมบำรุงตามสภาพ (CBM : Condition Based Maintenance)

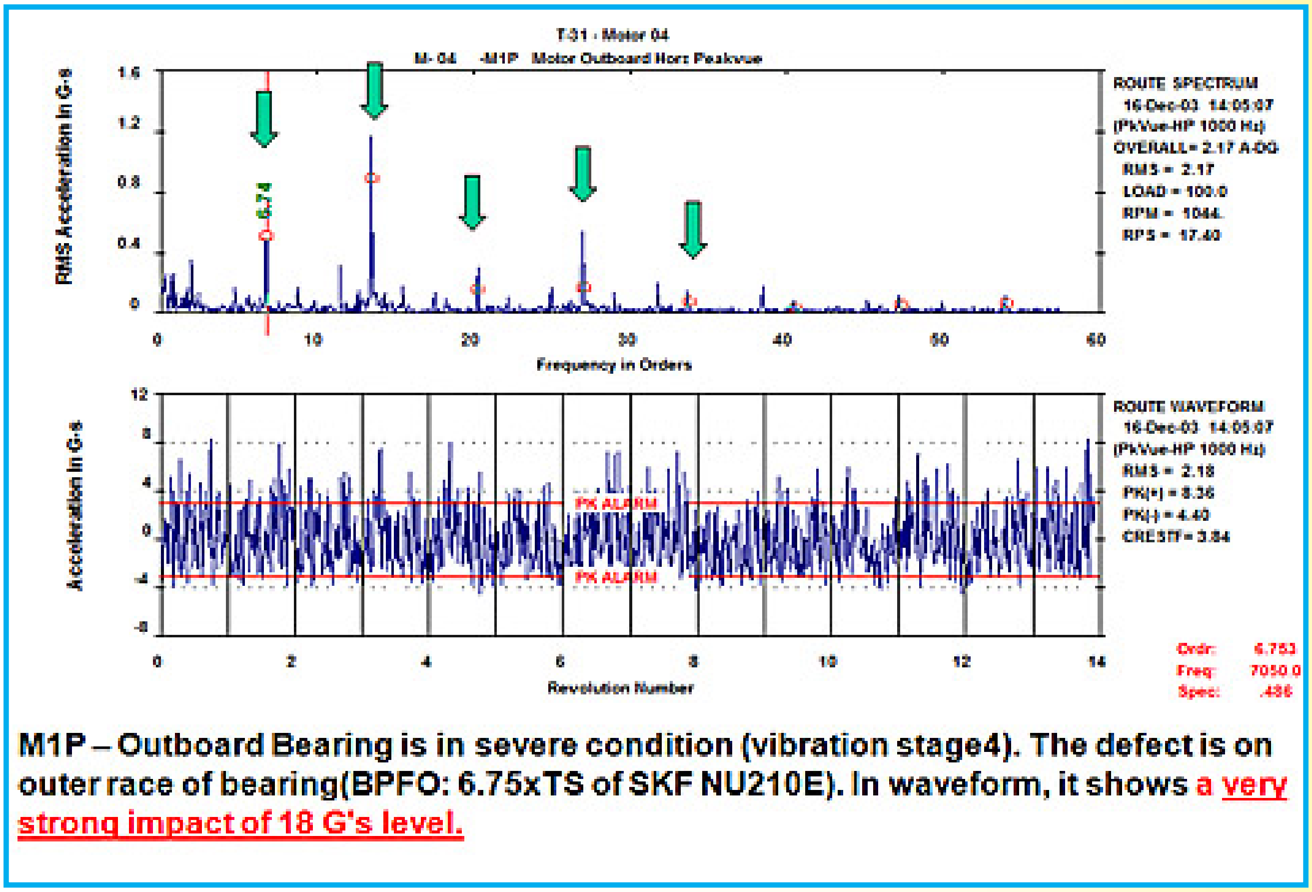
โดยปกติก่อนที่เครื่องจักรชำรุดจะแสดงอาการเหมือนกับเป็นสิ่งบอกเหตุล่วงหน้า ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถสัมผัสและพิสูจน์ได้ จึงจะเป็นการดีถ้าเราสามารถระบุถึงสภาพเครื่องจักรเป็นระยะ ๆ ก่อนการชำรุดหรือมีอาการผิดปกติการตรวจสภาพการทำงานของเครื่องจักรกลนั้นสามารถทำได้ 3 ลักษณะด้วยกัน กล่าวคือ

1. การตรวจทั่วไป (Simple Inspection) เป็นการกระทำโดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้ตรวจ เป็นเครื่องมือ ซึ่งได้แก่ การฟังเสียง การเฝ้าดู การสัมผัส การกระทำเหล่านี้ไม่ต้องมีการลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ แต่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและความคุ้นเคยกับเครื่องจักรของผู้ตรวจมากกว่า ดังนั้นการใช้บุคลากรบำรุงรักษาทำงานนี้อาจจะมีปัญหาในการตัดสินใจเกี่ยวกับสภาพชิ้นส่วน/เครื่องจักร เนื่องจากบุคลากรบำรุงรักษาไม่ได้ทำงานอยู่กับเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งตลอดเวลา ทำให้ขาดความคุ้นเคยกับเครื่องจักรนั้น ๆ เช่น การตรวจสภาพโดยใช้มือแตะดูความร้อนที่เสื้อตลับลูกปืน ช่างบำรุงรักษาที่ไม่เคยทำงานกับเครื่องจักรนี้ จะไม่สามารถทราบได้ว่าตลับลูกปืนนั้นร้อนหรือมีอาการผิดปกติหรือไม่ บุคลากรที่ทำงานอยู่กับเครื่องจักรเป็นประจำจะทำงานในลักษณะนี้ได้ดีกว่า

อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ลืมว่า กว่าที่ประสาทสัมผัสของคน จะเริ่มรับรู้ความผิดปกติของเครื่องจักรได้นั้นสภาพของเครื่องจักรก็มักจะอยู่ในขั้นที่เสื่อมสภาพไปมากแล้ว เช่น การใช้มือสัมผัสกับตลับลูกปืน ถ้ารู้สึกผิดปกติหรือตลับลูกปืนร้อนก็แสดงว่าอุปกรณ์ภายในจะต้องมีการชำรุดเกิดขึ้นซึ่งในบางครั้งอาจจะสายเกินไปที่จะเตรียม การบำรุงรักษาได้ทัน ทำให้ต้องกลับไปใช้วิธีบำรุงรักษาแบบแก้ไขและทำให้เครื่องจักรต้องหยุดการทำงาน นอก จากนั้นการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสเป็นข้อมูลที่หยาบ และยากแก่การนำไปใช้วินิจฉัยหาสาเหตุของความเสียหาย ที่แท้จริงต่อไปได้

2. การตรวจสภาพ (Condition Checking) สำหรับชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เสื่อมสภาพไปตามเวลา การคอยเฝ้าตรวจสภาพของชิ้นส่วน/เครื่องจักร จะทำให้สามารถคาดคะเนถึงความเสียหายของชิ้นส่วน/เครื่องจักรนั้นล่วงหน้าได้ ลักษณะการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นการเสื่อมสภาพที่ปรากฏเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลา เช่น ความหนาของสายพานที่สึกหรอไปตามชั่งโมงการทำงาน ระดับน้ำมันหล่อลื่นที่ค่อย ๆ ลดลง ความสึกหรอของเฟือง ซึ่งเป็นการแสดงที่ชัดเจนสามารถประเมินสภาพได้โดยทันที

3. การเฝ้าตรวจแนวโน้ม (Trend Monitoring) คือ การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรแบบที่สอง ซึ่งเป็นไปตามเวลาเหมือนกันแต่ไม่ได้แสดงอาการออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาเหมือนกับแบบที่หนึ่ง ซึ่งจะไม่แสดงให้เห็นสภาพการเสื่อมในระยะแรกของการใช้งาน ความผิดปกติที่แสดงอาการของการเสื่อมสภาพจะปรากฏอย่างฉับพลัน อย่างไรก็ตามมีแนวความคิดว่ารูปแบบการเสื่อมสภาพแบบนี้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเองอยู่เหมือนกันแม้ว่าจะไม่เป็นรูปแบบเชิงเส้นก็ตาม ตัวอย่างรูปแบบนี้ได้แก่ความเสียหายของตลับลูกปืนแสดงตัวอย่างของกราฟที่บันทึกได้จากการตรวจวัดการสั่นสะเทือนที่ตลับลูกปืนของเครื่องจักรกลหมุน



กราฟแสดงความเสียหายของตลับลูกปืน

การตรวจสภาพเครื่องจักร สองวิธีหลังเป็นวิธีที่สามารถพิสูจน์ได้อย่างชัดเจน มีการแสดงตัวเลข ซึ่งใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ช่วยในการตรวจวัด ทำให้สามารถตั้งระดับเตือนภัย (Alarm Level) ของชิ้นส่วน/อุปกรณ์นั้นได้ก่อนที่จะถึงระดับเสียหาย (Failure Level) การกำหนดช่วงหมดอายุ (ระยะเวลาจากระดับเตือนภัยถึงระดับเสียหาย) ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเตรียมการเข้าบำรุงรักษาของหน่วยซ่อมบำรุง เช่น การรออะไหล่ นอกจากนั้นชิ้นส่วน/เครื่องจักรจะได้รับการบำรุงรักษาก็ต่อเมื่อพบว่าสภาพของมันไม่เป็นที่ยอมรับอีกต่อไปได้แล้วเท่านั้น ซึ่งนั่นหมายความว่าชิ้นส่วน/เครื่องจักรนั้นถูกใช้งานจนถึงที่สุด

CBM กับ กรมอู่ทหารเรือ

CBM ไม่ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ในกรมอู่ทหารเรือ ย้อนหลังไปเมื่อปี พ.ศ. 2537 แผนกมาตรฐานและวิเคราะห์ กองควบคุมคุณภาพ อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ได้ทำโครงการวิจัยและพัฒนาทางการทหารเรื่อง "การตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรกลเพื่อลดอัตราการชำรุดเสียหายและสึกหรอที่ผิดปกติ" นายทหารโครงการ นาวาเอก เศวตนันท์ ประยูรรัตน์ (ยศในขณะนั้น) ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีตลอดจนเครื่องมือที่นำมาใช้ทำการตรวจสอบและประเมินสภาพเครื่องจักรกลในเรือ โดยกำหนดเทคโนโลยีการบ่งบอกสภาพเครื่องจักรออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1. หลักการการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนและเสียง 2. หลักวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุในน้ำมันหล่อลื่น 3. หลักการวิเคราะห์สิ่งเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น 4. หลักการสำรวจสถิติและปัญหาเรื่องการผิดศูนย์ 5. ใช้รูปแบบเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่มีใช้งานอยู่ในขณะนั้น เช่น เครื่องมือตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิแบบ Thermograph เครื่องมือตรวจสอบสภาพมอเตอร์ เครื่องมือตรวจวัดอัตราการไหล (Flow Meter), เครื่องมือตรวจจับการรั่วไหล (Ultra-sonic Leak Detector) การผลิตและบังคับใช้แบบบันทึกการซ่อมทำและแบบประเมินผลการซ่อมทำ ผลการศึกษาและวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ทุกประการ ซึ่งในตอนนั้นยังไม่ได้ถูกเรียกว่า CBM

ต่อมาเมื่อปี พ.ศ.2553 กรมอู่ทหารเรือ กับสถาบันไทย–เยอรมัน ได้ร่วมกันจัดทำโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างกองทัพเรือ โดยกรมอู่ทหารเรือกับ สถาบันไทย-เยอรมัน วัตถุประสงค์ของการทำวิจัยคือ ทำการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรกลเรือในกองทัพเรือ โดยการนำหลักการบำรุงรักษาตามสภาพ CBM : Condition Based Maintenance มาใช้ในการประเมินสภาพเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ในเรือของกองทัพเรือ เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุงเรืออย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้เขียนได้ร่วมเป็นคณะทำงานในโครงการฯ หลังจากลงนามในบันทึกข้อตกลงร่วมแล้ว ทั้งสองหน่วยได้พิจารณาถึงเทคโนโลยีและเครื่องมือที่จะนำมาใช้ ในการกำหนดแนวทางการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรของเรือด้วยคณะทำงานร่วมฯ ไม่สามารถนำเอาเทคโนโลยีและเครื่องมือที่ใช้กับงานด้าน CBM มาดำเนินการวิจัยฯ ได้ทั้งหมด สืบเนื่องจากมีระยะเวลาในการปฏิบัติงานเพียง 2 ปี รวมทั้งเทคโนโลยีและเครื่องมือในกรมอู่ทหารเรือบางประเภทยังไม่ได้รับการบรรจุในอัตรา คณะทำงานร่วมฯ จึงได้พิจารณาคัดเลือกนำเอาเทคโนโลยี ด้านการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) ด้านการตรวจสอบภาพถ่ายความร้อน (Infrared Thermograph) และด้านการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Use Oil Analysis) มาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ประกอบที่ติดตั้งอยู่ในเรือหลวงกันตัง เพื่อนำมาทดลองใช้ในการเก็บข้อมูลจริง อันจะนำไปสู่การพิจารณาที่จะเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบให้เหมาะสมกับเครื่องจักรกลเหล่านั้น ซึ่งโครงการดังกล่าวได้ดำเนินการเสร็จสิ้นเรียบร้อย พอสรุปผลการดำเนินการได้ดังนี้

1. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้ในกรมอู่ทหารเรือมากกว่า 20 ปี มีการกำหนดขั้นตอนและวิธีปฏิบัติ แนวทางการวิเคราะห์รวมทั้งเกณฑ์การยอมรับเป็นที่ชัดเจน ซึ่งได้กำหนดเป็นมาตรฐานกรมอู่ทหารเรือ เรียบร้อยแล้ว และจากความร่วมมือกับสถานบันไทย-เยอรมัน ได้พิจารณาปรับแก้ไขและกำหนดรายละเอียดเพิ่มเติมขึ้นอีก ตามขีดความสามารถที่ทันสมัยของเครื่องมือวัดที่เพิ่มขึ้นและเพื่อความชัดเจนในการการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักร ตลอดจนกำหนดแนวทางการปฏิบัติต่อเครื่องจักรที่ผ่านการตรวจวัดดังนี้

1.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องวัดและจำนวนจุดตรวจวัด ให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นตามเทคโนโลยีและความทันสมัยของเครื่องมือ เพื่อผลในการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ครบถ้วนครอบคลุมทุกปัญหาที่เกิด

1.2 กำหนดสถานภาพหรือระดับของเครื่องจักรเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน อันจะนำไปสู่การวางแผนซ่อมบำรุงที่สมบูรณ์

1.3 กำหนดแนวทางการปฏิบัติต่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ภายหลังการประเมินสภาพ

1.4 จัดเก็บข้อมูลลงในระบบสารสนเทศ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบวิเคราะห์และรายงานผล

2. การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟาเรด เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาจากการตรวจวัดอุณหภูมิแบบธรรมดามาเป็นการภาพถ่ายความร้อน เพื่อช่วยในการตรวจสอบสภาพความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรกล/อุปกรณ์ทางไฟฟ้า โดยได้กำหนดวิธีการและขั้นตอนในการปฏิบัติตลอดจนเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมิน เพื่อวิเคราะห์สภาพของเครื่องจักร/อุปกรณ์ ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าระบบควบคุมรวมทั้งแผงวงจรต่าง ๆ เนื่องจากภาพถ่ายที่บันทึกขณะการทำงานของเครื่องจักรเป็นภาพเสมือนจริง ซึ่งช่วยในการตรวจสอบปัญหาเบื้องต้นได้อย่างถูกต้อง รวดเร็วแม่นยำก่อนที่อุปกรณ์จะเกิดการชำรุด ทำให้การวางแผนซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3. การตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เครื่องมือตามเทคโนโลยีนี้มีใช้งานที่กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีความสามารถในการตรวจสอบคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและสิ่งเจือปน (Wear Metal) คณะทำงานร่วมฯ ได้กำหนดขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างและขั้นตอนการปฏิบัติทั้งหมดซึ่งมีหลายหน่วยงานที่จะต้องเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติ ได้แก่ เจ้าหน้าที่เรือของกองเรือยุทธการ กรมอู่ทหารเรือ และ กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ เพียงแต่เพิ่มเติมข้อมูลในการวิเคราะห์ซึ่งได้แก่ เกณฑ์คุณสมบัติทางกายภาพตามชนิดของน้ำมันโดยขอรับการสนับสนุนข้อมูลได้จากเจ้าของผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อชนิดนั้น ๆ ส่วนเกณฑ์ Wear Limit ตลอดจนชนิดของเศษผงโลหะที่สึกหรอจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร (Element Source) จำเป็นจะต้องได้รับการสนับสนับข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ชนิดนั้น ๆ เพื่อนำสู่การวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ และสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นจะเกิดขึ้นไม่ได้หากขาดองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. องค์บุคคล

1.1 การเตรียมความพร้อมของเจ้าหน้าที่ที่ทำการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรในเรือ ให้มีความพร้อมทั้งด้านร่างกายและจิตใจ เนื่องจากการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรในเรือต้องใช้ความอดทน ความเอาใจใส่และความเป็นคนช่างสังเกต ซึ่งเหล่านี้เป็นคุณสมบัติที่ดีของผู้ตรวจสอบ

1.2 พิจารณาบรรจุกำลังพลที่จะมาปฏิบัติราชการในส่วนของงานตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลในเรือ ให้ตรงกับงานที่ต้องปฏิบัติพร้อมทำการฝึกกำลังพลรุ่นใหม่เพื่อทนแทนเจ้าหน้าที่เดิม อันเนื่องมาจากการโยกย้ายสับเปลี่ยนตามวาระ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในด้านนี้จะต้องมีความรอบรู้ ความเชี่ยวชาญและมีความเข้าใจในเครื่องจักรกลมากพอสมควร

2. องค์วัตถุ

2.1 จัดหาเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานตรวจสอบสภาพเครื่องจักร โดยใช้หลัก CBM ให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบเครื่องจักรกลอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2.2 จัดทำเอกสารบันทึกผลการตรวจสอบสภาพและแบบประเมินสภาพของเครื่องจักร ให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนครอบคลุมในทุกส่วนที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้วางแผนการเรียกเรือเข้ารับการซ่อมบำรุงและกำหนดแผนการใช้เรือ

2.3 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ประวัติการซ่อมบำรุง และประวัติการตรวจสอบเครื่องจักรกล ให้เป็นรูปแบบที่อยู่บนฐานข้อมูลเดียวกัน เพื่ออำนวยความสะดวกรวดเร็วในการประสานระหว่างหน่วยซ่อมบำรุงและหน่วยผู้ใช้ ซึ่งนำข้อมูลมาทำการประมวลผลและประเมินสภาพของเครื่องจักรกล

3. องค์ความรู้ พัฒนาด้านการเรียนรู้และส่งเสริมให้มีการจัดฝึกอบรม ในส่วนของเครื่องมือตลอดจนเทคโนโลยีใหม่ ๆ พร้อมทั้งทบทวนความรู้ด้านการปฏิบัติอยู่เสมอ เพื่อนำความรู้ความชำนาญที่ได้ มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลในเรือ

การซ่อมบำรุงตามสภาพ CBM เป็นการซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแนวคิดการซ่อมบำรุงเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance Concept) ด้วยการคาดคะเนจากอัตราการเสื่อมของเครื่องจักร โดยใช้เครื่องมือหรือวิธีการให้ได้มาซึ่งข้อมูล ที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรกล ซึ่งจะช่วยในการวางแผนซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ต่อหน่วยผู้ใช้และหน่วยซ่อมบำรุง จากการปฏิบัติงานโครงการร่วมในครั้งนี้ ทำให้ทราบว่ากรมอู่ทหารเรือต้องมีการปรับปรุงพัฒนาในด้านต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้เกิดประสิทธิผลในการประเมินสภาพเครื่อง

การประยุกต์นำ CBM มาใช้ในตรวจสอบสภาพเรือในงานซ่อมบำรุง

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการบำรุงรักษา 2 แบบ คือ ซ่อมบำรุงแบบแก้ไขกับซ่อมบำรุงแบบป้องกัน โดยพิจารณาจากการใช้งานชิ้นส่วนของเครื่องจักรกับความเสียหายเป็นหลัก จะพบว่าโดยวิธีการบำรุงรักษาแบบแก้ไขนั้น ชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะถูกใช้งานได้จนกว่าชำรุด แต่ไม่สามารถควบคุมการเกิดความเสียหายได้ ในขณะที่วิธีการบำรุงรักษาแบบป้องกันจะสิ้นเปลืองอะไหล่มากกว่า แต่ลดโอกาสความเสียหายของเครื่องจักร ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดเกี่ยวกับวิธีการบำรุงรักษาแบบใหม่ ที่จะช่วยให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้เต็มที่ และสามารถควบคุมความเสียหายที่ไม่ตั้งใจได้

ด้วยเหตุนี้วิธีการซ่อมบำรุงรักษาแบบใหม่ จึงขึ้นอยู่กับสภาพของเครื่องจักร การดำเนินการซ่อมบำรุงรักษาจะเน้นอยู่ที่การวางแผนการตรวจสภาพการทำงานของเครื่องจักร เพื่อที่จะควบคุมความเสียหายและจะทำการดูแลรักษา รวมทั้งซ่อมแซมให้สอดคล้องกับความต้องการของเครื่องจักร อย่างไรก็ตามจากคำว่า “ตามสภาพของเครื่องจักร” ทำให้การใช้วิธีการซ่อมบำรุงรักษาแบบนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่จำเป็น 2 ข้อ คือ 1. เครื่องจักรที่ใช้งานต้องมีการแสดงออกที่สะท้อนถึงสภาพของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนนั้น ที่สามารถแปลความหมายได้ เช่น ความร้อน การสั่นสะเทือน เสียง ความดัน การสึกหรอ 2. จะต้องมีวิธีการและหรือเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้การตรวจสอบอาการดังกล่าวของเครื่องจักรได้อย่างเหมาะสมตรงกับความต้องในการตรวจสอบ

แนวทางการประยุกต์ ใช้ CBM

เป็นที่เข้าใจว่า CBM เป็นระบบการซ่อมบำรุงเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่เหมาะสมตามสภาพและเวลาประหยัดค่าใช้จ่าย ได้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงภายหลังการซ่อมทำ และจากข้อมูลการซ่อมบำรุงเรือของกรมอู่ทหารเรือที่ผ่านมา พอที่จะสรุปได้ว่าเป็นรูปแบบของการซ่อมบำรุงแบบป้องกัน (Preventive Maintenance System) ผสมผสานกับการซ่อมบำรุงแบบแก้ไข (On-Failure Maintenance System) หากนำ CBM มาปรับใช้เสริมย่อมจะทำให้ปริมาณการซ่อมบำรุงแบบแก้ไขลดลงได้ และทำให้งานซ่อมบำรุงเรือของกรมอู่ทหารเรือ เพิ่มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในส่วนที่เป็นเรือพร้อมในทะเลและเรือที่กำลังซ่อมตามแผน โดยมีแนวคิดรูปแบบการปรับใช้ดังนี้

1. เรือพร้อมปฏิบัติราชการรวมถึงเรือที่กำลังปฏิบัติราชการ

1.1 กำหนดแผนการตรวจประเมินสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เสริมเทคโนโลยี CBM แล้วให้กับเรือตามห้วงเวลาที่เหมาะสมตามประเภทของเรือและชั่วโมงใช้งาน (Condition Assessment)

1.2 ใช้ค่าพารามิเตอร์รวมทั้งผลการทดสอบทดลองเรือเมื่อซ่อมบำรุงแล้วเสร็จ และส่งมอบเรือให้กับกองเรือยุทธการ เป็นค่าเริ่มต้นในการติดตามแนวโน้มการการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรกล

1.3 จัดเก็บข้อมูลผลการตรวจสอบประเมินสภาพเครื่องจักรทุกครั้ง อย่างเป็นระบบแบบแผนจน กระทั่งถึงผลการทดสอบทดลองก่อนนำเรือเข้าซ่อมตามแผนในครั้งต่อไป

2. เรือซ่อมบำรุง

การนำเทคโนโลยี CBM มาใช้ในการตรวจประเมินสภาพเรือซ่อมบำรุงกระทำได้ในสองขั้นตอน คือ การตรวจสอบสภาพก่อนนำเรือเข้าซ่อมบำรุงและภายหลังการซ่อมบำรุงแล้วเสร็จ ซึ่งในหัวข้อนี้หากมีการวางแผนการจัดเก็บข้อมูลของเรือในสภาวะปกติ (Condition Assessment) ได้ตามวงรอบที่กำหนดรวมทั้ง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโรงงาน (Test Protocol) ที่ถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบอยู่ก่อนแล้วสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประกอบการประเมินได้ทันทีโดยไม่ต้องออกเรือเพื่อปฏิบัติการเก็บและประเมินใหม่ ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการเตรียมแผนการซ่อมบำรุงและจัดหาอะไหล่

โดยสรุปแล้ว เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลในปัจจุบัน มีหลายเทคโนโลยีคงเป็นไปไม่ได้ที่มีเพียงเทคโนโลยีเดียวที่จะสามารถตรวจสอบปัญหาของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ได้ทั้งหมด แนวโน้มในอนาคตจะต้องนำหลาย ๆ เทคโนโลยีและเครื่องมือเข้ามาร่วมกันในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักร เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบปัญหาและสาเหตุของความเสียหาย เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจว่าจะกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรในช่วงใด ทำอย่างไรและต้องใช้งบประมาณเท่าไร ในการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการซ่อมบำรุงอันจะส่งผลทำให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุดในการซ่อมบำรุง

สำหรับผู้เขียน CBM คือ“วิธีการประเมินสภาพเครื่องจักร จากผลการตรวจสภาพเครื่องจักรด้วยเครื่องมือที่ให้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ทำนายคาดการณ์อาการชำรุดของเครื่องจักรได้ เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องจักรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ”

บทสรุป

ถึงแม้ว่ากรมอู่ทหารเรือจะดำเนินการซ่อมบำรุงเรือ โดยกำหนดขั้นตอนในการซ่อมบำรุงตามคู่มือบริหารงานซ่อมทำเรือ และให้หน่วยผู้ใช้เรือได้ดำเนินการซ่อมบำรุงตามแผน (Plan Maintenance System) รวมทั้งทำการตรวจสอบประเมินสภาพเรือก่อนเข้ารับการซ่อมทำ (Condition Assessment) แล้วก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถทำให้เรือมีความพร้อมที่จะออกปฏิบัติราชการ เพื่อตอบสนองภารกิจของกองทัพเรือได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ วิธีการ ตลอดจนการดำเนินงานที่มีอยู่นั้น ยังไม่สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ประจำเรือได้ดีพอ ส่งผลให้การวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้ไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ เป็นผลให้การกำหนดแผนการใช้เรือเป็นไปอย่างไม่ชัดเจน หากได้มีการปรับปรุงพัฒนากระบวนการตรวจสอบและวิเคราะห์ความพร้อมของเครื่องจักรกล โดยการนำเทคโนโลยีตามระบบการซ่อมบำรุงตามสภาพ (Condition Based Maintenance : CBM) และวิธีการดำเนินการที่เหมาะสมมาใช้เสริมการซ่อมบำรุงและประเมินสภาพเครื่องจักรกลเรือของกรมอู่ทหารเรือในปัจจุบัน ตลอดจนการประยุกต์ใช้เครื่องมือและบริหารจัดการข้อมูลแบบบูรณาการ ก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์ และคาดการณ์แนวโน้มของการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้สามารถดำเนินการซ่อมป้องกัน หรือทำการบำรุงรักษาได้ทันก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุด (Break Down) ซึ่งจะส่งผลทำให้ประหยัดงบประมาณ รวมระยะเวลาในการซ่อมบำรุง ตลอดจนสามารถนำผลการวิเคราะห์ประเมินมาใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุงเรือของกรมอู่ทหารเรือได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ อันจะนำไปสู่ความพร้อมของเครื่องจักรกล และส่งผลให้เรือมีความสมบูรณ์พร้อมที่จะออกปฏิบัติภารกิจ เพื่อตอบสนองความต้องการของกองทัพเรือได้ตลอดเวลาสมกับคำที่ว่า “เราทำให้พร้อมรบ”

การบริหารจัดการการสร้างเรือ OPV2
ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง

นาวาเอก ประจักษ์ พูลสวัสดิ์
ผู้อำนวยการ กองโรงงานไฟฟ้า อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ

เฮนรี ฟาโยล (Henri Fayol) กล่าวว่า *“ หากวันหนึ่งคุณต้องอยู่ในสภาวะ ที่ต้องใช้คนจำนวนมาก ในการทำงานแล้วละก็ หัวใจของการบริหารจัดการ เพื่อให้งานสำเร็จตามเป้าหมายนั้น มีองค์ประกอบ 5 ปัจจัย คือ การวางแผน (Planning) การจัดองค์กร (Organizing) การบังคับบัญชาหรือการสั่งการ (Commanding) การประสานงาน (Coordinating) และการควบคุม (Controlling)”* (ชูเกียรติ เนื้อไม้, 2555)

การสร้างเรือ ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง ของกองโรงงานไฟฟ้า อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ (กฟฟ.อรม.อร.) ไม่ได้ทำต่อเนื่องเหมือนงานซ่อมเรือต่าง ๆ ที่ดำเนินการเป็นประจำ รวมทั้งเรือ OPV2 เป็นเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งขนาดใหญ่ มีอุปกรณ์ต่าง ๆ จำนวนมาก และมีระบบสลับซับซ้อน ถึงแม้ว่า กฟฟ.อรม.อร. มีประสบการณ์สร้างเรือ OPV1 (เรือหลวงกระบี่) มาแล้ว แต่ก็มีข้าราชการ ลูกจ้างประจำ และพนักงานราชการหลายนายได้ย้ายออก เกษียณอายุราชการ และมีการย้ายเข้าใหม่ เพื่อให้การสร้างเรือ ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง สามารถสร้างได้ทันเวลาตามแผนงานหลัก (Master Plan) มีคุณภาพ และสร้างความพึงพอใจให้กับกองเรือยุทธการเจ้าของเรือ ดังนั้นการบริหารจัดการที่ได้มาตรฐาน เชื่อถือได้ จะต้องถูกนำมาใช้ในการดำเนินการ

1 ภาพการต่อเรือลากจูงของการท่าเรือสัตหีบในอู่แห้ง อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช

ความเป็นมา

กฟฟ.อรม.อร. ตั้งอยู่ที่อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ (อรม.อร.) เป็นหน่วยงานที่ตั้งมาเมื่อประมาณสิบกว่าปีที่แล้ว มีหน้าที่ ซ่อม ดัดแปลง แก้ไข ติดตั้ง รื้อถอน เดินสาย ประกอบ ตรวจ ทดลอง ระบบเครื่องไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง ตลอดจนอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือขนาดใหญ่ที่มีคุณค่าทางยุทธการ จำนวนยี่สิบกว่าลำให้กับกองทัพเรือ

กฟฟ.อรม.อร. มีกำลังพลรวมประมาณ 70 นาย ประกอบด้วย ข้าราชการ ลูกจ้างประจำ และพนักงานราชการ ถึงแม้ว่า กฟฟ.อรม.อร. จะมีกำลังพลน้อย เมื่อเทียบกับภารกิจที่ได้รับมอบหมาย แต่ก็ได้สร้างผลงานในการสร้างเรือ ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง เป็นที่ภาคภูมิใจให้กับข้าราชการ ลูกจ้างประจำ และพนักงานราชการของ กฟฟ.อรม.อร. รวมทั้งกรมอู่ทหารเรือและกองทัพเรือ โดยในปี พ.ศ.2550 เป็นครั้งแรกที่ อรม.อร.ซึ่งปกติจะมีหน้าที่ซ่อมเรือมาโดยตลอด ได้รับมอบหมายจากกองทัพเรือ ให้สร้างเรือลากจูง ฐท.สส.24 ขนาด 20 ตัน ความยาว 27.5 เมตร กฟฟ.อรม.อร. ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบระบบไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง โดยดำเนินการติดตั้ง Support เดินสาย ต่อหัวสาย ทดสอบ และทดลอง นับเป็นภารกิจที่ท้าทายกับความสำเร็จ จากการสอบถามกำลังพลทั้ง 70 นายว่ามีผู้ใดบ้างที่มีประสบการณ์ในการสร้างเรือ พบว่า มีเพียง 3 นาย เป็นข้าราชการ 1 นาย และลูกจ้างประจำ 2 นาย เท่านั้น แต่ด้วยความมุ่งมั่น ด้วยความตั้งใจ และไม่ยอมแพ้ กฟฟ.อรม.อร.ได้ใช้กำลังพลจำนวน 15 นาย ภายใต้การควบคุมดูแลโดย น.ต.บุญธรรม จำเริญใหญ่ (ยศในขณะนั้น) ใช้ระยะเวลาในการสร้างทั้งสิ้นประมาณ 6 เดือน และสามารถใช้ราชการได้อย่างมีประสิทธิภาพมาจนถึงปัจจุบัน

2 ภาพการต่อเรือลากจูงของการท่าเรือสัตหีบในอู่แห้ง อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช

ต่อมาปี พ.ศ.2552 กรมอู่ทหารเรือ (อร.) โดย อรม.อร. ได้รับมอบหมายจากกองทัพเรือให้สร้างเรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง ซึ่งเป็นการสร้างเรือรบที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่ อร. ได้เคยสร้างมา โดยเรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง (เรือหลวงกระบี่) ความยาวประมาณ 92 เมตร ระวางขับน้ำ 1,900 ตัน กฟฟ.อรม.อร.ก็ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบในระบบไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง ถึงแม้ว่า กฟฟ.อรม.อร.มีข้าราชการ ลูกจ้าง และพนักงานราชการ ที่มีประสบการณ์ในการสร้างเรือจำนวน 15 นายจากการสร้างเรือลากจูง ฐท.สส.24 แต่ด้วยเรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง (เรือหลวงกระบี่) มีขนาดใหญ่ ระบบต่าง ๆ สลับซับซ้อน รวมทั้งยังมีระบบ Integrate Platform Management System (IPMS) ซึ่งเป็นระบบควบคุม สั่งการและรายงานผลในระบบตัวเรือ กลจักรไฟฟ้า และระบบป้องกันความเสียหาย ซึ่งเป็นระบบใหม่ที่ติดตั้งครั้งแรกในเรือสร้างใหม่ กฟฟ.อรม.อร.ได้ใช้กำลังพลรวม 35 นาย โดยการควบคุมของ นาวาโท ธีรศักดิ์ ปาลวัฒน์ สามารถดำเนินการได้ตามแผน โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 1 ปี 8 เดือน ซึ่งเป็นความภาคภูมิใจของ กฟฟ.อรม.อร.อีกครั้ง ปัจจุบัน เรือหลวงกระบี่ สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

3 ทีมงานสร้างระบบไฟฟ้าเรือหลวงกระบี่

4 การปล่อยเรือหลวงกระบี่ลงน้ำในอู่แห้ง อรม.อร.

การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการสร้างเรือ OPV2

1. การวางแผน

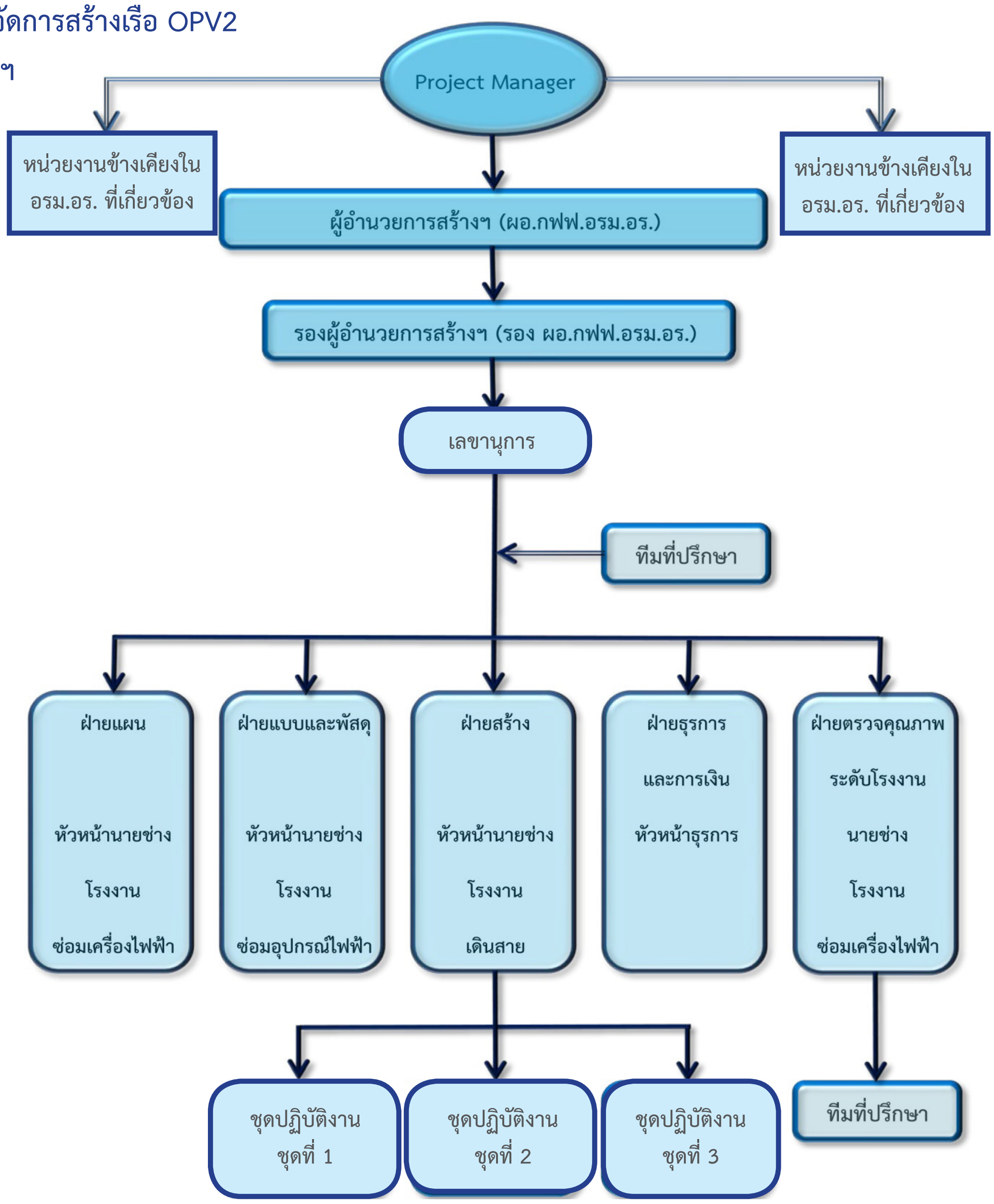
กฟฟ.อรม.อร.ได้กำหนดวางแผนละเอียด (Construction Plan) ในการสร้างเรือ OPV2 ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างที่สอดคล้องกับแผนการสร้างเรือหลัก (Master Plan) ที่กำหนดไว้ในสัญญา โดยแบ่งออกเป็น 10 ขั้นตอน คือ

1.1 การเตรียมการในโรงงาน (Prepare at Factory)
1.2 การหมายตำแหน่ง (Marking)
1.3 การติดตั้ง Support สายไฟ (Installation Cable Support)
1.4 การติดตั้ง Support อุปกรณ์ (Installation Equipment Support)
1.5 การเดินสาย (Cable Laying)
1.6 การติดตั้งอุปกรณ์ (Installation Electric Equipment)
1.7 การต่อหัวสาย (Connecting)
1.8 การตรวจสอบก่อนการจ่ายไฟ (Checking before Electrify)
1.9 การจ่ายไฟ (Electrify)
1.10 การทดลอง (Setting to Work)

โดยกำหนดเริ่มดำเนินการด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างในวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ.2559 และทดสอบ มี Power Supply จ่ายให้กับระบบต่าง ๆ ในเรือได้ในวันที่ 4 มกราคม พ.ศ.2561 รวมระยะเวลาการดำเนินการ 577 วัน

2. การจัดองค์กรบริหารจัดการสร้างเรือ OPV2

2.1 การจัดโครงสร้างฯ

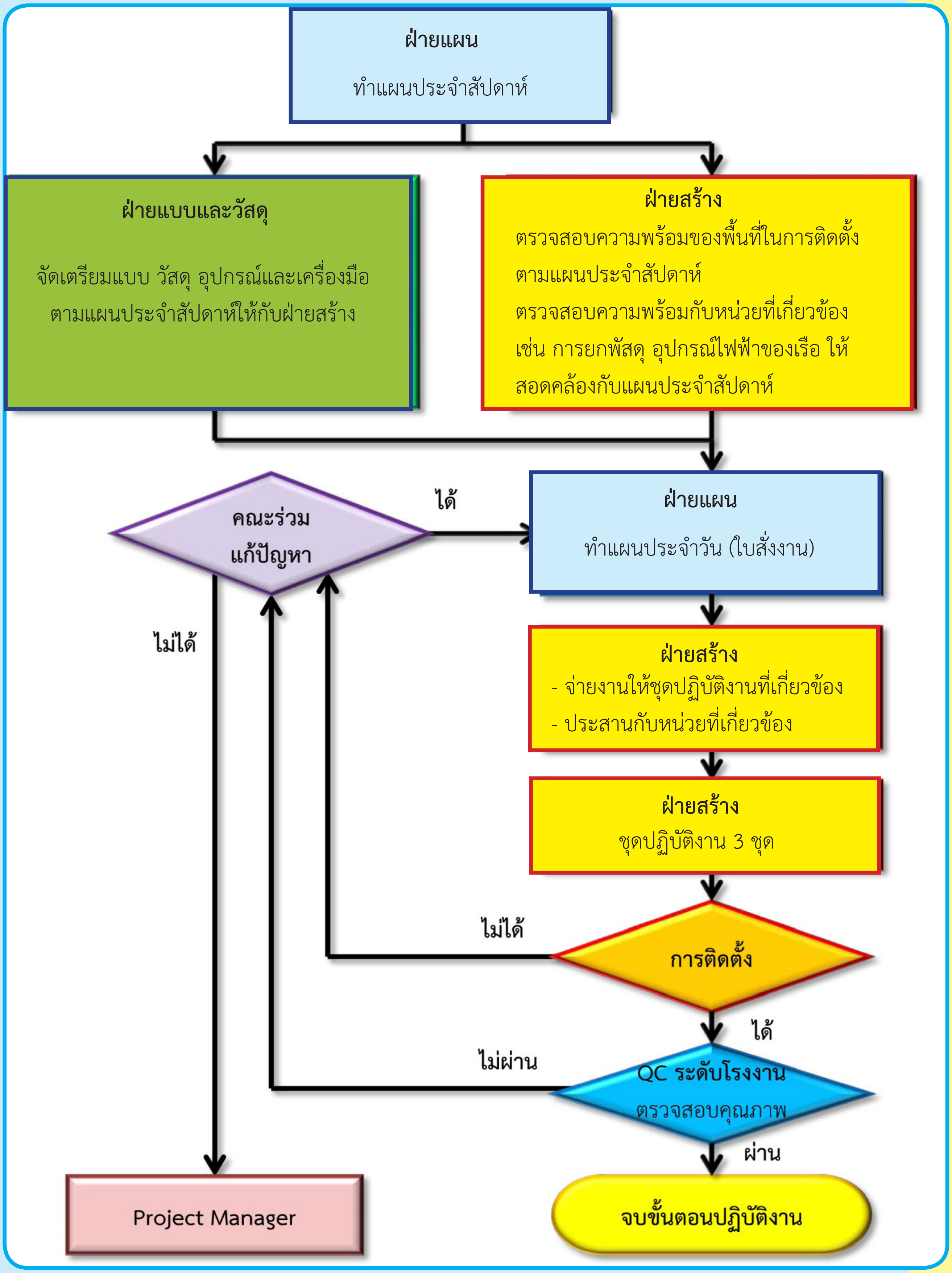


2.2 ตำแหน่งหน้าที่และผู้รับผิดชอบ

ลำดับ	ตำแหน่ง	หน้าที่	ผู้รับผิดชอบ
1	ผู้อำนวยการสร้างเรือ OPV2	- ควบคุมเร่งรัดการติดตั้งระบบไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างเรือ OPV2 ให้เป็นไปตามแผนงานหลัก (Master Plan)	ผอ.กฟฟ.อรม.อร.
2	รองผู้อำนวยการสร้าง OPV2	- รับรับคำสั่งจากผู้อำนวยการสร้างเรือ OPV2 - เป็นหัวหน้าคณะร่วมแก้ปัญหา	รอง ผอ.อรม.อร.
3	ฝ่ายแผน	- ทำแผนประจำสัปดาห์ - ทำแผนประจำวัน (ใบสั่งงาน) - ติดตามความก้าวหน้าใบสั่งงานและรวบรวมใบสั่งงานที่แล้วเสร็จ ส่งให้กับเลขานุการ - เป็นคณะร่วมแก้ปัญหา	หัวหน้านายช่าง โรงงานซ่อมเครื่องไฟฟ้า กฟฟ.อรม.อร.
4	ฝ่ายแบบ พัสดุและเครื่องมือ	- เบิกพัสดุ อุปกรณ์สำหรับการสร้างเรือ จาก กองพัสดุช่าง อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช (ที่ได้รับการตรวจรับจากกรรมการตรวจแผนและพัสดุ เรือ OPV2) - จัดเตรียมแบบ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ตามแผนประจำสัปดาห์ให้กับฝ่ายสร้างเรือ OPV2 - ทำรายการควบคุมแบบ เครื่องมือ วัสดุ ที่มีและเบิกไปใช้งาน คงเหลือ ให้พร้อมตรวจสอบเสมอ - เสนอความต้องการพัสดุหมดเปลือง อุปกรณ์นิรภัยต่าง ๆ - เป็นคณะร่วมแก้ปัญหา	หัวหน้านายช่าง โรงงานซ่อมอุปกรณ์ไฟฟ้า กฟฟ.อรม.อร.
5	ฝ่ายสร้างเรือ OPV2	- ตรวจสอบความพร้อมของพื้นที่ในการติดตั้งตามแผนประจำสัปดาห์ - ตรวจสอบความพร้อมกับหน่วยที่เกี่ยวข้อง เช่น การยกพัสดุ อุปกรณ์ไฟฟ้าลงเรือให้สอดคล้องกับแผนประจำสัปดาห์ - ประสานงานกับหน่วยที่เกี่ยวข้องตามแผนประจำวัน - จ่ายงานให้ชุดปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องตามแผนประจำวัน - ควบคุมและเร่งรัด แก้ปัญหาเบื้องต้น ของการสร้างให้เป็นไปตามแผนประจำวัน - ควบคุมระเบียบวินัย ตารางการปฏิบัติประจำวันในเวลาและนอกเวลางานของชุดปฏิบัติงานทั้ง 3 ชุด - เป็นคณะร่วมแก้ปัญหา	หัวหน้านายช่าง โรงงานเดินสาย กฟฟ.อรม.อร.

ลำดับ	ตำแหน่ง	หน้าที่	ผู้รับผิดชอบ
6	หัวหน้าฝ่ายตรวจคุณภาพระดับโรงงาน	- ตรวจคุณภาพระดับโรงงาน	นายช่างโรงงานซ่อมเครื่องไฟฟ้า กฟฟ.อรม.อร.
7	หัวหน้าธุรการและการเงิน	- ดูแลบัญชี เบิกจ่าย ค่าใช้จ่าย และงานธุรการต่าง ๆ - ดูแลเครื่องดื่มและอาหารเย็นในการจัดเลี้ยงกำลังพลประจำวัน	หัวหน้าธุรการ
8	ทีมที่ปรึกษา	- ศึกษาแบบและให้คำปรึกษากับทุกฝ่าย - เป็นทีมตรวจคุณภาพระดับโรงงาน ขึ้นตรงกับหัวหน้าฝ่ายตรวจคุณภาพ - ถ่ายภาพ จัดหาข้อมูล ข้อเท็จจริงในเรือและข้อมูลในแบบ เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการประชุมกับคณะร่วมแก้ปัญหา - เป็นคณะร่วมแก้ปัญหา	1.นายสมพร เกตุสำเภา 2.นายวิเชียร พิริยะนาวิน 3.นายสายชล บุญมาวัฒน์
9	เลขานุการ	- ติดตามความก้าวหน้าและจัดทำเปอร์เซ็นต์การติดตั้งระบบไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง - จัดเตรียมข้อมูลและเป็นเลขานุการการประชุมทุกการประชุม -รวบรวมแผนประจำสัปดาห์ แผนประจำวัน ใบสั่งงานที่แล้วเสร็จและผลสรุปการแก้ปัญหา - เป็นคณะร่วมแก้ปัญหา - ร่วมตรวจคุณภาพกับ แผนกไฟฟ้า กองควบคุมคุณภาพ อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ	นายช่างโรงงานซ่อมเครื่องไฟฟ้า กฟฟ.อรม.อร.

3. การควบคุมและสั่งการประจำวัน



4. ความคาดหวังของการสร้างเรือ OPV2 ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง

การสร้างเรือลากจูง ฐท.สส.24 เป็นการสร้างเรือครั้งแรกของ อรม.อร. ความไม่พร้อมของบุคลากร เครื่องมือ และงบประมาณ งานบางส่วนต้องจ้างเอกชนดำเนินการ ทำให้มีผู้ดำเนินการและเกี่ยวข้องหลายฝ่ายขาดแบบละเอียดในการติดตั้ง การทำงานในส่วนต่าง ๆ เช่น ตัวเรือ กลจักร ไฟฟ้า สื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์ ยังไม่เป็นระบบ ไม่เป็นขั้นตอนก่อนหลัง งานที่ทำไปแล้วก็ต้องแก้ไข หรือทำใหม่ ส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการเรือลากจูง ฐท.สส.24 ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างของ กฟฟ.อรม.อร. ซึ่งรับผิดชอบติดตั้งและทดสอบทดลอง มีปัญหาอุปสรรคข้อขัดข้องในการดำเนินการมากมาย

ต่อมา กฟฟ.อรม.อร. ได้รับมอบหมายจาก อรม.อร.ให้สร้างเรือ OPV1 กฟฟ.อรม.อร.จึงได้นำเอาแนวทางการการบริหารจัดการเรือลากจูง ฐท.สส.24 และปัญหาอุปสรรคข้อขัดข้อง มาวิเคราะห์ หาทางป้องกันและแก้ปัญหา โดยได้กำหนดแนวทางขึ้นมาสำหรับสร้างเรือ OPV1 ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง ซึ่งหลังจากสร้างแล้วเสร็จ อรม.อร.ได้มีการประชุมสัมมนาสรุปอุปสรรคและข้อขัดข้อง ที่โรงแรมไม้หอม ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี สรุปได้ว่างานด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างมีปัญหาอุปสรรคข้อขัดข้องน้อยมาก และได้รับคำชมเชยจาก Project Manager OPV1 ไว้ในวารสารกรมอู่ทหารเรือ ปี พ.ศ. 2557 เรื่อง เจตนารมณ์การต่อเรือแบบพึ่งพาตนเองของกองทัพเรือว่า ***"งานไฟฟ้ามีขบวนการผลิตที่มีการวางแผนเป็นอย่างดีและบริหารงานแรงงานได้อย่างลงตัว"*** (วิทยา ละออจันทร์, 2557)

ดังนั้นกองโรงงานไฟฟ้าจึงคาดหวังไว้ว่า การบริหารจัดการตามแนวทางนี้ จะใช้ในการสร้างเรือ OPV2 ด้านไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสบความสำเร็จ

สรุป

ที่ผ่านมา กฟฟ.อรม.อร. ***"ได้ทำ"*** เรือลากจูง ฐท.สส.24 ***"สู่การทำได้"*** สร้าง OPV1 (เรือหลวงกระบี่) และครั้งนี้สร้างเรือ OPV2 ต้อง ***"ทำด้วยความชำนาญ"*** ซึ่งหมายถึง ทำให้ถูกต้อง ทันเวลา และมีคุณภาพจึงจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการที่ได้มาตรฐาน โดยการวางแผนการดำเนินการการจัดโครงสร้างองค์กรใหม่ให้เหมาะสมกับการสร้างเรือ OPV 2 และกำหนดหน้าที่ของแต่ละตำแหน่ง รวมทั้งกำหนดวิธีการปฏิบัติ การสั่งการ การควบคุม และการตรวจสอบให้ชัดเจน และหวังว่าสักวันหนึ่งเราก็ ***"พร้อมที่จะทำด้วยความเชี่ยวชาญ"*** ตามวลีทอง *"To become the best"* นโยบายผู้บัญชาการทหารเรือประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

1. นายชูเกียรติ เนื้อไม้. (2555). แนวคิดและทฤษฎีการจัดการ ของ เฮนรี ฟาโยล (Henri Fayol) http://adisony.blogspot.com/10/2012/henri-fayol.html

2. นาวาเอก วิทยา ละออจันทร์. (2557). เจตนารมณ์การต่อเรือแบบพึ่งพาตนเองของกองทัพเรือ. วารสารกรมอู่ทหารเรือ, 51-32

การทำวิศวกรรมย้อนรอย
ด้วยการหล่อแบบ Patternless

นาวาโท นพดล ตันวัฒนะ
หัวหน้านายช่าง โรงงานเครื่องกล แผนกโรงงานเครื่องกล
กองโรงงาน อู่ทหารเรือธนบุรี กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

กรมอู่ทหารเรือเป็นองค์กรหลักในการซ่อมและสร้างเรือให้กับกองทัพเรือ โดยกรมอู่ทหารเรือได้มีการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการและวิธีการซ่อมทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีของเครื่องจักร อุปกรณ์ ที่ทันสมัยมากขึ้น หนึ่งในกระบวนการนั้นคือการทำวิศวกรรมย้อนรอยในการผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถสนับสนุนการทำวิศกรรมย้อนรอยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในกระบวนการตรวจวัดขนาด กระบวนการทางวัสดุวิศวกรรม และกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน เช่น การหล่อโลหะกับการขึ้นรูปชิ้นงาน การขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและขนาดใหญ่ดังเช่น ใบจักรเรือประเภท High Skew นั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายในกระบวนการขึ้นรูป แต่ในทางกลับกันด้วยเทคโนโลยีการหล่อแบบ Patternless ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ แม้ว่าจะเป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและขนาดใหญ่ ก็จะมีรูปร่างที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกับต้นแบบหรือแบบพิมพ์เขียว โดยการขึ้นรูปชิ้นงานที่ได้จากการหล่อแบบ Patternless ก็จะเป็นการขึ้นรูปโดยทั่วไปเท่านั้น เช่น การคว้านรูเพลา การทำเกลียว การเจียรนัยผิว การขัดผิว การหล่อแบบ Patternless จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทำวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนและขนาดใหญ่ ให้กับกรมอู่ทหารเรือ เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

เมื่อกล่าวถึงวิศวกรรมย้อนรอยกับกระบวนการผลิตของกรมอู่ทหารเรือนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำตามสายงานปกติ เพียงแต่ไม่ได้มีการกล่าวถึงเท่านั้น การที่กรมอู่ทหารเรือต้องผลิตหรือสร้างชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่าง ๆ มาทดแทนของเก่าซึ่งในบางครั้งไม่สามารถจัดหาได้ทันเวลา ไม่มีการผลิตจากบริษัทผู้ผลิตตามสายการผลิตปกติแล้ว ซึ่งหากมีการสั่งให้ผลิตในปริมาณน้อยก็อาจพิจารณาได้ว่าไม่คุ้มค่าเนื่องจากมีราคาต่อชิ้นงานที่สูง นอกจากนี้การสั่งผลิตชิ้นส่วนที่เลิกสายการผลิตแล้วก็ย่อมใช้เวลาในการผลิตนาน

การผลิตชิ้นส่วน/อะไหล่ ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ดำเนินการโดยกรมอู่ทหารเรือ เช่น พัดน้ำ หม้อดับความร้อน (Heat Exchanger) คัปปลิ้ง (Flexible Coupling) และใบจักรขนาดเล็ก มีกระบวนการของวิศวกรรมย้อนรอยเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งสิ้น โดยเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบขนาด ประเภทของวัสดุ ลักษณะเฉพาะการทำงาน การขึ้นรูปชิ้นงาน โดยการปฏิบัติงานก็มีทั้งการลอกเลียนเพียงเพื่อผลิตชิ้นงาน และการลอกเลียนเพื่อให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงชิ้นงานหรืออุปกรณ์เดิม เช่น ชิ้นส่วนของ Water Jet Jacuzzi 12YJ ซึ่งวัสดุต้นแบบนั้นเป็นเหล็ก แต่ด้วยการทำวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อทดแทนการนำเข้าของกรมอู่ทหารเรือ จึงได้มีการพัฒนาด้วยการผลิตชิ้นส่วนของ Water Jet ดังกล่าวด้วยวัสดุอะลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า การขึ้นรูปสะดวกและรวดเร็วกว่า โดยที่คุณสมบัติการทำงานยังเหมือนเดิม การจัดหาเครื่องมือที่ทันสมัยของกรมอู่ทหารเรือนั้นเป็นไปด้วยความจำกัด ทำให้การทำงานด้านต่าง ๆ ต้องใช้ความชำนาญและทักษะของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก ซึ่งข้อจำกัดนี้เป็นอุปสรรคอย่างยิ่งในการทำวิศวกรรมย้อนรอยให้ได้ประโยชน์สูงสุด แต่ในทางตรงกันข้ามกับภาคเอกชนในประเทศที่มีการพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์สำหรับการทำวิศวกรรมย้อนรอยเป็นอย่างมาก

ในปีงบประมาณ 2557 กรมอู่ทหารเรือได้สนับสนุนภาคเอกชนโดยให้บริษัท สปีด ทรีดี โมลด์ จำกัด (SPEED 3D MOLD CO.,LTD) ทำการหล่อใบจักรแบบ Keyless ของชุดเรือ ต.991 ภายใต้แนวคิดของการทำวิศกรรมย้อนรอยเพื่อผลิตอะไหล่ทดแทนการนำเข้าซึ่งมีราคาสูง กระบวนการหล่อใบจักรดังกล่าวเป็นตัวอย่างของการทำวิศวกรรมย้อนรอยที่ดีในการกล่าวถึง เพราะมีการใช้เทคโนโลยีการหล่อแบบ Patternless ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยี 3D Scanner Three Dimensional Printing (3DP) และ 3D Cast Modelling ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้อ่านได้สามารถเข้าใจการทำวิศวกรรมย้อนรอยของการหล่อใบจักรชุดเรือ ต.991 ได้ดี จึงได้มีการนำเสนอหลักการของการทำวิศวกรรมย้อนรอยในส่วนแรก จากนั้นจึงเป็นการนำเสนอกระบวนการหล่อใบจักรแบบ Patternless โดยเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการหล่อใบจักรแบบใช้ไม้แบบของกรมอู่ทหารเรือ

1. เทคโนโลยีการย้อนรอย

การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลให้มีรูปร่าง และคุณสมบัติทั้งด้านทางกลและด้านวัสดุที่เหมือน หรือให้ใกล้เคียงกับชิ้นต้นแบบ (Original Part) ให้มากที่สุดนั้น ก็คือ หลักการของคำว่าวิศวกรรมการย้อนรอย (Reverse Engineering) [1] โดยที่มาและความจำเป็นของการทำวิศวกรรมย้อนรอยนั้นก็มีแตกต่างกันไป เช่น ต้องการปรับปรุงเครื่องมือ/อุปกรณ์แต่เนื่องจากขาดข้อมูลทางด้านการผลิตหรือข้อมูลทางด้านเทคนิคจากผู้ผลิต ต้องการผลิตเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ทางบริษัทผู้ผลิตไม่ได้ดำเนินการผลิตแล้ว หรือแม้แต่การผลิตเพื่อทดแทนชิ้นส่วนเดิมที่ชำรุดเสียหายซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีราคาแพง เทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยสามารถช่วยวิศวกรในการออกแบบ หรือพัฒนาชิ้นส่วนเครื่องมือ อุปกรณ์ เชิงนวัตกรรมใหม่ ๆ ขึ้นมาได้เช่นกัน โดยเฉพาะองค์กรที่ไม่มีการสนับสนุนหรือขาดทุนในการวิจัย พัฒนา และสร้างสรรค์งานนวัตกรรมใหม่ ๆ ออกมา แนวคิดของวิศวกรรมย้อนรอยจึงตอบโจทย์เพราะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการได้มาซึ่งข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับการออกแบบและผลิตชิ้นงานต่าง ๆ

แต่ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมย้อนรอยอาจทำให้เกิดปัญหาด้านลิขสิทธิ์ได้ โดยเฉพาะถ้าวัตถุประสงค์ของการดำเนินการนั้นเป็นไปเพื่อการพาณิชย์ การทำวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อให้เกิดการพัฒนานั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงหลักการการทำงานและองค์ประกอบต่าง ๆ ให้ครอบคลุมเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์หาจุดบกพร่องของชิ้นงานต้นแบบให้ได้แล้วนำมาพัฒนาต่อยอดสร้างสรรค์งานต่อไป โดยกระบวนการดังกล่าวก็คือ การลอกเลียนอย่างสร้างสรรค์ (Copy & Development) ซึ่งในมุมของการพาณิชย์พิจารณาว่าเป็นกระบวนการที่เหมาะสมกับภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยในการพัฒนาด้านการสร้างสรรค์งานนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ ทั้งนี้การวิจัยและพัฒนา (R&D) โดยเริ่มตั้งแต่การวิจัยพื้นฐานจำเป็นต้องใช้เวลาและเงินทุนเป็นจำนวนมาก [2] การลอกเลียนอย่างสร้างสรรค์สามารถดูดซับเทคโนโลยีจากผู้ผลิตที่มีเทคโนโลยีสูงกว่าได้ดี (โดยส่วนมากแล้วเป็นผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ) การทำวิศวกรรมย้อนรอยแล้วเพิ่มขั้นตอนการคิดค้นออกแบบ (Inventive Step) เพื่อให้กลายเป็นนวัตกรรมใหม่ (Novelty) จะสามารถช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยอยู่รอดโดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาดเล็กที่ไม่สามารถแข่งขันด้านเงินทุนในการพัฒนาวิจัยได้ [2]

แต่ในความเป็นจริงยังพบอยู่บ่อยครั้งว่าชิ้นงานหรืออุปกรณ์ที่ผลิตด้วยการทำวิศวกรรมย้อนรอยยังมีคุณสมบัติที่ต่ำกว่าชิ้นงานหรืออุปกรณ์ต้นแบบ [1] ทั้งนี้ก็เนื่องจากผู้ดำเนินการยังขาดการศึกษาข้อมูลโดยละเอียดของชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบทางวิศวกรรม คุณสมบัติของวัสดุ กรรมวิธีการผลิต และลักษณะการใช้งานของชิ้นงานต้นแบบ เพื่อให้การทำวิศวกรรมย้อนรอยสามารถเรียนรู้ข้อมูลด้านเทคนิคที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้ครบถ้วน ควรพิจารณาให้ความสำคัญกับกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้

1.1 การย้อนรอยรูปร่างต้นแบบ

1.1 การย้อนรอยรูปร่างต้นแบบ ในการเรียนรู้ถึงรูปร่างต้นแบบที่ถูกต้องนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี การหาข้อมูลจากเอกสาร คู่มือ แบบพิมพ์เขียวของชิ้นงานต้นแบบเป็นวิธีเบื้องต้น แต่ส่วนมากแล้วข้อมูลจากผู้ผลิตมักถูกจำกัด จึงจำเป็นต้องใช้กรรมวิธีการตรวจวัดอื่นเพิ่มเติม ได้แก่

1.1.1 การอ่านจากแบบ พิจารณาได้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เพียงผู้ปฏิบัติงานต้องเข้าใจรูปแบบของระบบการเขียนแบบ (ระบบภาพฉายในการเขียนแบบ) รวมถึงสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ปรากฏในแบบ สัญลักษณ์ที่สามารถพบได้โดยทั่วไป เช่น ตำแหน่งและข้อกำหนดความหยาบ-ละเอียดของผิวชิ้นงาน สัญลักษณ์ทิศทางรอยความหยาบ สัญลักษณ์ย่อของกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการอ่านแบบหากสามารถเข้าใจแบบและสัญลักษณ์ก็จะทำให้เข้าใจถึงรูปร่างที่ถูกต้องพร้อมทั้งกระบวนการในการขึ้นรูปของชิ้นงานต้นแบบได้ แต่ถ้าหากไม่มีแบบพิมพ์เขียวของชิ้นงานต้นแบบก็จำเป็นต้องทำการวัด

1.1.2 Coordinate-Measuring Machine (CMM) เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดขนาดของชิ้นงานในทุกมิติ โดยตัวเครื่องประกอบด้วยหัวอ่าน (Probe) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่เข้าทำการวัดชิ้นงานได้ถึง 6 แกนการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) แต่ก็ขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการใช้งานซึ่งอาจทำให้มีความสามารถในการวัดตามแกนการเคลื่อนที่ต่างกันไป ปัจจุบันหัวอ่านมีอยู่หลายประเภททั้งแบบที่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานโดยตรง เช่น Mechanical Probe และแบบที่ไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน เช่น หัวอ่านแบบเลเซอร์ (Laser) หัวอ่านแบบแสง (Optical) การควบคุมหัวอ่านของเครื่อง CMM มีทั้งแบบควบคุมด้วยมือ (Manual) ในการวัดค่าตามที่มีผู้ปฏิบัติงานบังคับ และแบบอัตโนมัติ (Automatic) ซึ่งสามารถทำการวัดตามเส้นทางที่มีการสั่งการไว้ ด้วยความเที่ยงตรงและความสะดวกในการวัด เครื่อง CMM จึงเป็นเครื่องมือหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานที่มีความซับซ้อนหลังการขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยคุณสมบัติของเครื่อง CMM ทำให้การทำวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับชิ้นงานต้นแบบที่ไม่มีแบบพิมพ์เขียวมีความสะดวกและเที่ยงตรงมากขึ้น

1.1.3 เครื่องมือ 3D Scanner เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่สามารถใช้ตรวจวัดขนาดของชิ้นงานได้ หลักการของเครื่อง 3D Scanner มีความคล้ายกับการทำงานของกล้องถ่ายรูปซึ่งใช้หลักการของแสง กล้องถ่ายรูปทำการรวมแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุมาสร้างเป็นภาพ แต่เครื่อง 3D Scanner จะรวบรวมข้อมูลลักษณะการสะท้อนของแสงมาคำนวณเป็นระยะทางจากตัวเครื่อง 3D Scanner ถึงผิวของวัตถุ ซึ่งข้อมูลของระยะที่วัดได้นั้นเรียกว่า จุดเมฆ (Point Could) โดยเป็นการอ้างอิงจากตำแหน่งของหัวอ่าน จะเห็นได้ว่าด้วยหลักการทำงานของเครื่อง 3D Scanner จำเป็นต้องมีการสแกนหลายครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลครอบคลุมผิวของชิ้นงานทั้งหมด โดยการสแกนในทุกครั้งต้องทำการอ้างอิงจากระบบอ้างอิงเดียวกัน ด้วยเพราะเครื่อง 3D Scanner ทำการด้วยหลักการสะท้อนของแสงจึงทำให้สามารถทำการตรวจวัดขนาดของชิ้นงานจากผิวภายนอกที่ไม่มีการปิดกั้นการเดินทางของแสงได้เท่านั้น ส่วนพื้นผิวที่อยู่ภายในของชิ้นงานสามารถใช้เทคนิคอื่นประกอบ เช่น การลอกแบบจากชิ้นงาน (หากกระทำได้) การใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมในการคำนวณเพิ่มเติม เช่น ลักษณะของการเรียวในของชิ้นงาน ซึ่งข้อมูลทั้งหมดก็จะถูกนำไปสร้างเป็นแบบ CAD ต่อไป

1.2 การย้อนรอยคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานต้นแบบ

การศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุในงานวิศวกรรมย้อนรอยก็มีความสำคัญไม่ด้อยไปกว่าเรื่องรูปร่างของชิ้นงานต้นแบบ คุณสมบัติของวัสดุมีความสัมพันธ์ต่อสภาพการใช้งานของวัสดุ เช่น งานที่ต้องรับแรงเค้นอยู่ตลอดเวลา งานที่ต้องอยู่สภาพใต้สภาวะอุณหภูมิสูง งานที่ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนสูง ซึ่งจากตัวอย่างของลักษณะงานที่กล่าวมา การเลือกใช้วัสดุก็ต้องพิจารณาให้มีความสัมพันธ์กัน การศึกษาเรื่องวัสดุเพื่อการทำวิศวกรรมย้อนรอยนั้นจำเป็นต้องศึกษาว่า วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุประเภทอะไร มีคุณสมบัติทางเคมีอย่างไร มีคุณสมบัติทางกลอย่างไร มีการปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรรมวิธีทางความร้อนหรือไม่ ซึ่งหากสามารถหาข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ได้ครบถ้วนก็จะเป็นโยชน์ต่อการทำวิศวกรรมย้อนรอย โดยปกติความรู้ด้านวัสดุเป็น Know-How ที่มักไม่มีการเปิดเผย จึงทำให้การตรวจวิเคราะห์เพื่อหาชนิดของวัสดุเป็นสิ่งที่สำคัญ ทั้งนี้สามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้ดังนี้ [1]

1.2.1 ส่วนผสมทางเคมี สามารถทำการตรวจสอบด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรวจสอบประเภทและส่วนผสมของโลหะของชิ้นงานตัวอย่าง เครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีหลักการทำงานด้วยการสปาร์กที่ผิวของชิ้นงานตัวอย่าง แสงที่เกิดจากสปาร์กมีความเข้มต่างกันไปตามชนิดธาตุและปริมาณที่มีอยู่ โดยแสงที่เกิดจากการสปาร์กก็จะถูกเซนเซอร์ตรวจจับแล้วคำนวณเป็นปริมาณของธาตุต่อไปได้

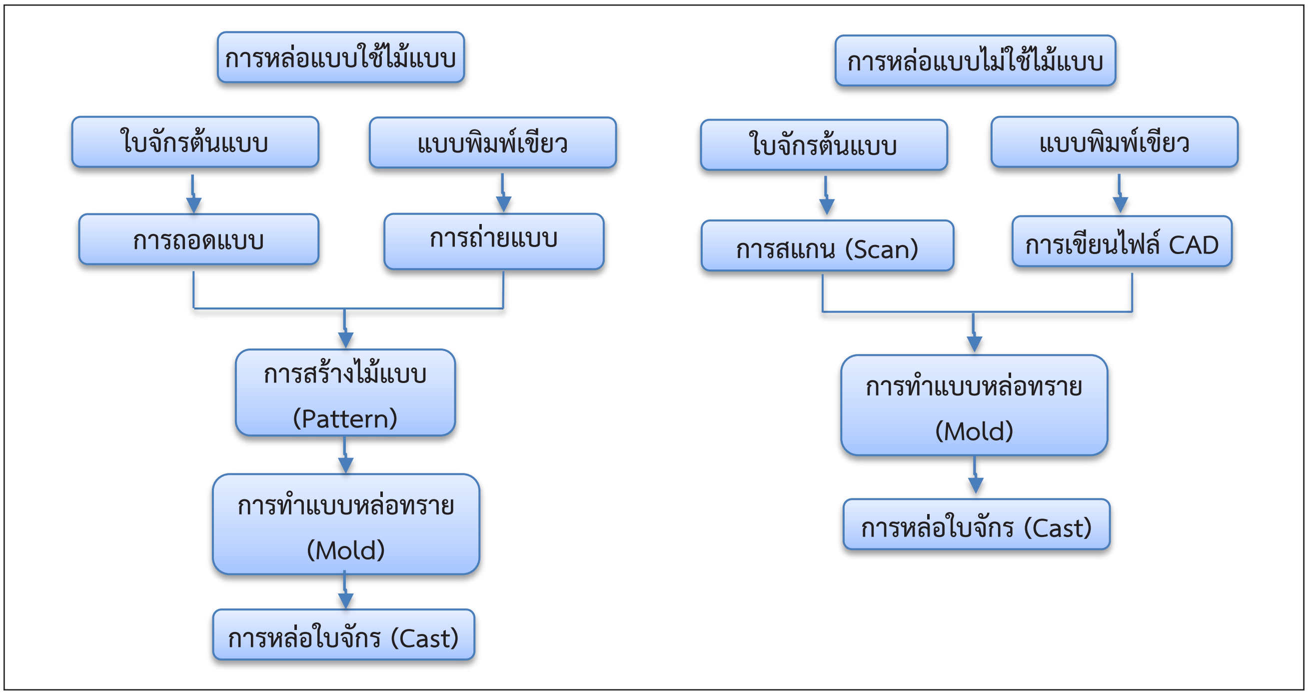
1.2.2 คุณสมบัติโครงสร้างด้านจุลภาค

การตรวจส่วนผสมทางเคมีเพียงอย่างเดียวนั้นอาจไม่สามารถวิเคราะห์ถึงประเภทของวัสดุได้ทุกครั้งไป ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุบางประเภทมีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงมากจนทำให้การวิเคราะห์ด้วยการตรวจส่วนผสมทางเคมีนั้นไม่สามารถแยกประเภทของวัสดุนั้นได้ เช่น เหล็กหล่อเทา (Gray Cast Iron) กับเหล็กแกรไฟต์กลม (Nodular Graphite Cast Iron) ถ้าหากมีการตรวจส่วนผสมทางเคมีด้วยการสปาร์กอาจไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เพราะธาตุคาร์บอนอาจมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในระหว่างการหล่อ แต่ถ้าหากนำมาวิเคราะห์ด้วยการตรวจดูโครงสร้างก็จะสามารถวิเคราะห์ได้ทันทีเพราะโครงสร้างของโลหะทั้งสองนั้นต่างกันอย่างชัดเจน [2] นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคก็ยังทำให้ทราบถึงลักษณะของการขึ้นรูปของชิ้นงานได้อีกด้วย เพราะการขึ้นรูปด้วยแรงทางกล เช่น การทุบขึ้นรูป (Forging) การอัดรีด (Extrusion) การรีดเป็นแผ่น (Rolling) ทำให้เกิดการไหลของเกรนที่แตกต่างกันตามลักษณะแรงในระหว่างกระบวนขึ้นรูปนั้น ๆ

1.2.3 คุณสมบัติทางกล

แม้ว่าการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุด้วยการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีและการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคจะสามารถบ่งบอกถึงส่วนผสมและกระบวนการขึ้นรูปได้ แต่อาจยังไม่เพียงพอต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานที่มีลักษณะการใช้งานเฉพาะ การตรวจวิเคราะห์ด้วยคุณสมบัติทางกลสามารถบ่งบอกคุณสมบัติของวัสดุตามการใช้งาน เช่น ชิ้นงานที่จำเป็นต้องมีการชุบแข็ง ชิ้นงานที่ต้องรับภาระแรงเป็นวัฏจักร ด้วยการตรวจสอบทางกล เช่น การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง การทดสอบความล้า ก็จะสามารถบ่งบอกถึงกระบวนการของการขึ้นรูปรวมถึงกระบวนการหลังการขึ้นรูปได้เช่นกัน นอกจากนี้คุณสมบัติทางกลยังสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบกับการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีในการบ่งชี้ถึงประเภทของวัสดุตามมาตรฐานต่าง ๆ เช่น ASTM (American Society Testing and Materials)

2. การเปรียบเทียบวิธีการหล่อใบจักรแบบใช้ไม้แบบกับวิธีหล่อแบบ Patternless



1 เปรียบเทียบวิธีการหล่อใบจักรแบบใช้ไม้แบบและการหล่อแบบ Patternless

การเปรียบเทียบกรรมวิธีการหล่อใบจักรแบบใช้ไม้แบบกับวิธีการหล่อแบบ Patternless นั้น เพื่อต้องการแสดงถึงขั้นตอนที่แตกต่างระหว่างวิธีการหล่อใบจักรทั้งสอง โดยวิธีของกรมอู่ทหารเรือซึ่งเป็นแบบที่ใช้ไม้แบบ (Pattern) เหมาะสำหรับการหล่อใบจักรที่มีมุมพิชท์ต่ำและไม่มีการซ้อนทับในส่วนของใบ ส่วนการหล่อใบจักรชุดเรือ ต.991 กรมอู่ทหารเรือนั้นยังไม่สามารถทำได้ด้วยใบจักรมีน้ำหนักเกินกว่าขนาดเตาหล่อหลอมที่ใหญ่สุดเพียง 500 กิโลกรัม แต่ใบจักรมีน้ำหนักถึง 644 กิโลกรัม นอกจากนี้ลักษณะของใบจักรยังไม่เหมาะสำหรับการหล่อโดยใช้ไม้แบบ กล่าวคือ ใบจักรมีภาพแผนคลี่ (Expanded Blade Area Ratio) ถึง 1.1 (ทำให้มีส่วนของใบซ้อนกัน) ใบจักรมี Pitch Ratio สูง โดยที่ 0.7R มีค่าเท่ากับ 1.175 จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าการหล่อใบจักรของทั้งสองวิธีนั้นสามารถอ้างอิงแบบหล่อได้จากทั้งใบจักรต้นแบบหรือแบบพิมพ์เขียวก็ได้ โดยขั้นตอนที่ต่างกันก็คือเรื่องการทำไม้แบบ (Pattern) ทั้งนี้การกล่าวในรายละเอียดจะได้แสดงต่อไป

2.1 การหล่อใบจักรแบบใช้ไม้แบบ

ไม้แบบ (Pattern) สำหรับการหล่อชิ้นส่วนคือแบบไม้ซึ่งสร้างให้มีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานต้นแบบกระบวนการทำไม้แบบนั้นใช้เวลานานเพราะต้องเริ่มต้นจากไม้แปรรูป โดยหากความหนาของไม้แปรรูปไม่พอสำหรับการทำไม้แบบก็จำเป็นต้องมีการประกบไม้แปรรูปดังกล่าวเข้าด้วยกันให้ได้ความหนาตามต้องการการทำงานก็ต้องเริ่มจากการถ่ายแบบลงบนเนื้อไม้จากนั้นก็ใช้เครื่องมือตัดเฉือนอย่างหยาบในช่วงแรก เช่น เลื่อย สิ่ว และเมื่อชิ้นงานมีรูปร่างที่ใกล้เคียงกับขนาดของไม้แบบที่ต้องการ จึงใช้เครื่องมือตัดเฉือนละเอียด เช่น ตะไบ กระดาษทราย จากนั้นจึงทำการทาแชลแลคหรือสีเพื่อให้ได้ผิวที่ลื่นซึ่งจะทำให้สามารถถอดแบบได้ง่ายในขั้นตอนของการทำแบบหล่อทราย (รูปที่ 2)

2 การทำไม้แบบของใบจักร

การทำไม้แบบสำหรับการหล่อใบจักรจะมีการทำไม้แบบเพียงใบเดียวเพื่อใช้ในการกดแบบในแบบหล่อทราย ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการสร้างไม้แบบ ในขั้นตอนการกดแบบ (การนำไม้แบบไปฝังลงในทรายเพื่อทำแบบหล่อทราย) จึงต้องทำทีละใบ แล้วหมุนเปลี่ยนมุมองศาตามจำนวนใบของใบจักรพวงนั้น เช่น ใบจักรที่มี 3 ใบ ก็จะต้องทำการหมุนตำแหน่งการกดแบบต่างกัน 120 องศา (รูปที่ 3) ซึ่งหากพิจารณาในขั้นตอนของการทำแบบหล่อใบจักรแล้วก็จะเห็นว่ามีความเสี่ยงในเรื่องของการเสียสมมาตรในแนวแกน (มุมระหว่างใบ) และเสียสมมาตรในแนวนอน (มุมเอียงและระนาบของใบจักรแต่ละใบ) แต่การกดแบบใบจักรในลักษณะนี้จะทำให้การสร้างแบบหล่อทรายใบจักรทำได้ง่ายกว่าการทำแบบหล่อของใบจักรทั้งพวง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบจักรที่มีส่วนของใบซ้อนกัน (Expanded Blade Area Ratio > 1) เพราะทำให้ต้องทำแบบหล่อทรายเป็นแบบทรายชัก (Under Cut) ซึ่งจำเป็นต้องแบ่งแบบหล่อทรายออกเป็นส่วนย่อย ๆ เพื่อให้สามารถทำการถอดแบบออกได้ นอกเหนือจากขั้นตอนของการทำแบบหล่อทรายของใบจักรตามที่กล่าว ในขั้นตอนของการทำแบบหล่อทรายจะต้องมีการออกแบบระบบการเทน้ำโลหะ (ขนาด ความสูง รูปร่างของรูเทรูดัก และรูล้น) ทั้งนี้การกำหนดขนาดและตำแหน่งของรูต่าง ๆ เจ้าหน้าที่ของกรมอู่ทหารเรือต้องอาศัยความเข้าใจธรรมชาติของโลหะ ผสมผสานกับประสบการณ์การทำงานที่ผ่านมา เพื่อให้ได้การเย็นตัวของโลหะที่สมบูรณ์ จากที่กล่าวเกี่ยวกับขั้นตอนของการทำไม้แบบ (Pattern) และการสร้างแบบหล่อทรายสำหรับการหล่อใบจักรด้วยการใช้ไม้แบบ จะเห็นได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานโดยเฉพาะการสร้างไม้แบบ (Pattern) ซึ่งใช้เวลามากกว่าครึ่งหนึ่งของกระบวนการหล่อใบจักรทั้งหมด ด้วยเหตุผลดังกล่าวกระบวนการหล่อด้วยวิธีแบบ Patternless จึงเหมาะสมกับการหล่อชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนดังเช่น ใบจักรชุดเรือ ต.991

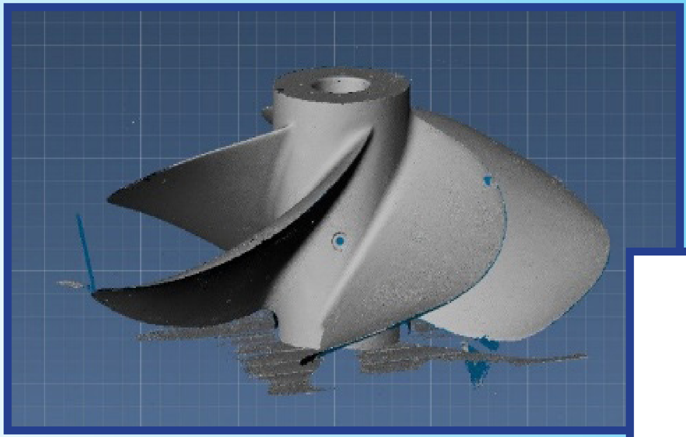
3 การทำแบบหล่อทรายใบจักร

2.2 วิธีการหล่อใบจักรแบบ Patternless คือการหล่อใบจักรด้วยแบบหล่อทราย (Mold) และไส้แบบ (Cores) ที่ได้จากการปริ้นท์ขึ้นรูปด้วยทราย โดยใช้ไฟล์ CAD ของใบจักรอ้างอิงในการปริ้นท์ กระบวนการหล่อใบจักรแบบ Patternless ของใบจักรชุด เรือ ต. 991 นั้นมีดังนี้

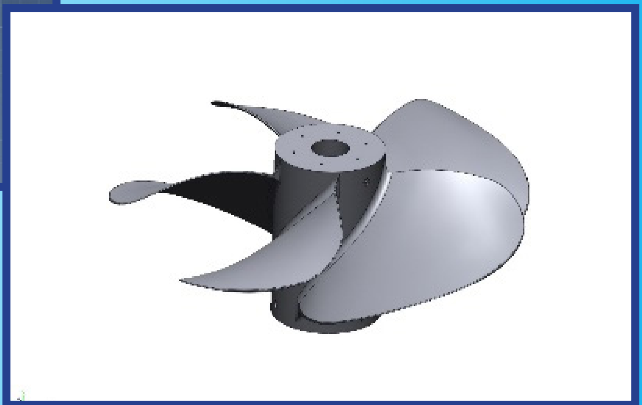
2.2.1 การสแกน ด้วยเพราะข้อมูลด้านเทคนิคของใบจักรที่ทางผู้ผลิตให้มานั้นยังไม่เพียงพอต่อการนำไปสร้างแบบหล่อได้ กล่าวคือไม่มีข้อมูลความโค้งของใบจักร ดังนั้นจึงได้ใช้กรรมวิธีการสแกนชิ้นงานแบบ 3D เพื่อเก็บข้อมูลขนาดของใบจักรชุดเรือ ต.991 เครื่องสแกนที่ใช้เป็นระบบหัวอ่านแบบแสง (Optical) มีหลักการทำงานโดยการยิงแสงเข้าไปกระทบกับชิ้นงานและสะท้อนกลับมายังหัวอ่าน ระบบจะทำการประมวลผลข้อมูลด้านระยะทางของแต่ละจุดที่ทำการวัดแล้วทำการสร้างเป็นรูปร่างเป็นพื้นผิวของชิ้นงาน (Surface) จากการสแกนในเบื้องต้นพบว่าผิวของชิ้นงานที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 4 ก โดยมีการตรวจพบความผิดปกติของผิว (ไม่เรียบและไม่สม่ำเสมอ) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาที่ดำเนินงานนั้นไม่มีใบจักรใหม่ของเรือชุดนี้เหลืออยู่ในคลัง จึงทำให้ต้องทำการสแกนใบจักรสำรองที่ผ่านการซ่อมทำมาแล้ว ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ผิวจากการสแกนไม่สมบูรณ์ บริษัท ฯ จึงได้นำข้อมูลด้านเทคนิคจากแบบของทางบริษัทผู้ผลิตมาประกอบกับการอ้างอิงตำแหน่งของไฟล์ที่ได้จากการสแกน เพื่อทำการปรับแก้ให้ได้ไฟล์ CAD ของใบจักรที่สมบูรณ์ดังแสดงในรูป 4 ข โดยบริษัท ฯ ได้ใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตใบจักรเขียนแบบใบจักรให้ได้มากที่สุด โดยมีการผสมผสานข้อมูลของแบบด้วยการอ้างอิงจากจุดขอบเขตจากไฟล์สแกน โปรแกรมที่สามารถใช้ในงานลักษณะนี้มีหลากหลาย เช่น NX, Rino, Geomagic, Rapidform การตรวจพบไฟล์จากการสแกนที่ไม่สมบูรณ์นั้นเป็นสิ่งปกติที่พบอยู่เสมอ เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการใช้งานมาแล้วย่อมมีการสึกหรอหรือเสียรูปไป ถ้าหากไม่มีข้อมูลจากทางบริษัทผู้ผลิตมาประกอบในการแก้แบบ ก็จำเป็นต้องใช้ทั้งเทคนิคด้านการเขียนแบบวิศวกรรมผสมผสานกับความรู้ทางวิศวกรรมเพื่อทำการออกแบบส่วนที่ขาดหายไป[3]

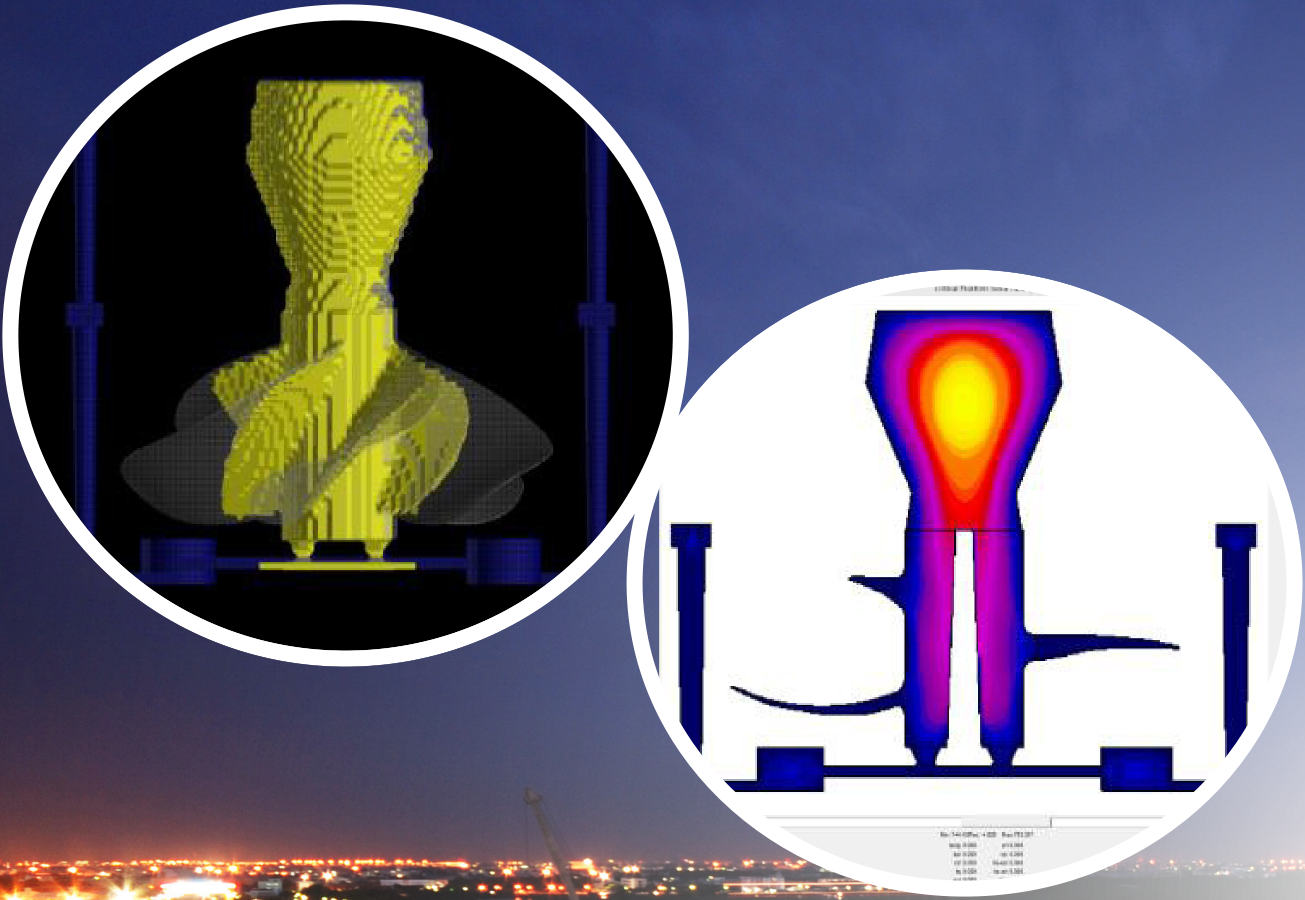
4 ใบจักรชุดเรือ ต.991 จากการสแกน

4 ก



4 ข





5 รูปการจำลองการเย็นตัว (Casting Engineering)

2.2.2 การจำลองการเย็นตัวของน้ำโลหะ (Casting Simulation) เป็นขั้นตอนที่นำแบบ CAD ของใบจักรมาทำการออกแบบระบบการเทน้ำโลหะของแบบหล่อ จากนั้นจึงทำการจำลองการเย็นตัวของน้ำโลหะโดยใช้โปรแกรม SOLID CAST (ปัจจุบันมีหลายโปรแกรม MAGMA, NOVA CAST, PRO CAST, SolidCast, และ FLOW 3D CAST) การจำลองการเย็นตัวของน้ำโลหะก็เพื่อวิเคราะห์โอกาสการเกิดของเสียในงานหล่อ (เนื่องจากการหดตัวทั้ง Macro และ Micro Shrinkage การเกิด Hot tear, Crack และ Miss Run) โดยทั่วไปแล้วการเย็นตัวของงานหล่อควรจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยต้องทำให้น้ำโลหะบริเวณหัวน้ำเลี้ยงมีการเย็นตัวช้าที่สุดเพื่อให้สามารถป้อนน้ำโลหะให้กับชิ้นงานได้เพียงพอ (รูปที่ 5) ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ผลการจำลองประกอบด้วยขั้นตอนของการปรับปรุงระบบการเทน้ำโลหะ เพื่อไม่ให้งานหล่อมีจุดร้อน (Hot spot) เกิดขึ้น ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาค่า Temperature Gradient ของการเย็นตัวประกอบ[3]

6 แบบหล่อทรายที่ได้จากกระบวนการปริ้นท์

2.2.3 การปริ้นท์แบบหล่อทราย เป็นเทคโนโลยีเดียวกับ Rapid Prototype ที่มีการปริ้นท์ชิ้นงานจากไฟล์ CAD โดยมีการปริ้นท์เป็นชั้นบาง ๆ เติมความหนาขึ้นเรื่อย ๆ ตามลักษณะชิ้นงานจนได้ความหนาของชิ้นงานสมบูรณ์ การปริ้นท์แบบหล่อทราย (Mold) และไส้แบบ (Cores) ทรายและสารยึดเหนี่ยว (Binder) จะถูกพ่นออกมาจากหัวปริ้นท์ออกมาพร้อมกันเป็นชั้นบาง ๆ ตามลักษณะของแบบหล่อ โดยความหนาก็จะเพิ่มขึ้นตามลำดับของจำนวนชั้นที่ทำการปริ้นท์ (บริษัท สปีด ทรีดี โมลด์ จำกัด ใช้เครื่องปริ้นท์แบบทรายรุ่น S-Max ซึ่งนำจากประเทศเยอรมนี) ประเภทของทรายที่ใช้ในการปริ้นท์แบบหล่อทรายก็ต้องพิจารณาให้มีความเหมาะสมกับจุดหลอมเหลวของโลหะที่จะทำการหล่อสำหรับใบจักรชุดเรือ ต.991 ซึ่งทำจากวัสดุ NiAlCu เกรด C95800 ทรายที่ใช้ในการปริ้นท์แบบหล่อทรายนั้นมีคุณสมบัติความคงทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1060 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุดังกล่าว หลังจากปริ้นท์แบบหล่อทราย (Mold) และไส้แบบ (Cores) ครบตามจำนวนแล้ว (ประกอบด้วยแบบหล่อทรายจำนวนทั้งสิ้น 28 ชิ้น) จึงทำการประกอบแบบหล่อทรายสำหรับการหล่อ (รูปที่ 6) การออกแบบสำหรับการปริ้นท์แบบหล่อทรายจะใช้ไฟล์ CAD ของใบจักรและระบบเทน้ำโลหะซึ่งได้ทำการจำลองการเย็นตัวของน้ำโลหะดังที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้ โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการถอดไม้แบบออกเพราะไม่มีไม้แบบเข้ามาเกี่ยวข้องในขั้นตอนการเตรียมแบบหล่อทราย

3. สรุป

กรมอู่ทหารเรือมีการผลิตชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ขึ้นมาทดแทนของเดิมที่ชำรุดเสียหายอยู่เป็นประจำ ทั้งจากการผลิตของกรมอู่ทหารเรือเองหรือการว่าจ้างเอกชนให้ดำเนินการ แต่ในระหว่างกระบวนการผลิตอาจยังไม่ได้คำนึงถึงหรือควบคุมให้เป็นไปตามหลักการของการทำวิศวกรรมย้อนรอยอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะด้วย ลักษณะของชิ้นงานที่มีการใช้งานโดยทั่วไปโดยสามารถยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ เช่น การหล่อหน้าแปลนเพลาใบจักร การหล่อโยงโย่ แต่ด้วยเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ติดตั้งมากับเรือที่ต่อขึ้นใหม่ในระยะหลังนี้ ล้วนมีการพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ส่งผลให้ระบบการทำงานของเครื่องจักร/อุปกรณ์มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ทำให้เครื่องจักร/อุปกรณ์มีชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ยากต่อการหล่อหรือการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลโดยทั่วไป ดังตัวอย่างของใบจักรชุดเรือ ต.991 ที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้น (รูปที่ 7)

การทำวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อวัตถุประสงค์ของการทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอาศัยความร่วมมือทางภาคเอกชนที่มีความพร้อมทั้งทางด้านองค์ความรู้และเทคโนโลยีในการดำเนินการ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่มีประสิทธิภาพไม่ด้อยไปกว่าชิ้นงานต้นแบบ ด้วยวิสัยทัศน์ของกรมอู่ทหารเรือที่ว่า “กรมอู่ทหารเรือจะเป็นเลิศในการซ่อมสร้างเรือ เพื่อให้ราชนาวีไทยเป็นกองทัพเรือชั้นนำในภูมิภาค” การทำวิศวกรรมย้อนรอยจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการซ่อมสร้างเรือของกรมอู่ทหารเรือ และจำเป็นต้องดำเนินการทำวิศวกรรมย้อนรอยให้สมบูรณ์ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่มีคุณภาพต่อการซ่อมสร้างเรือ การที่สามารถดำเนินการด้านวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อผลิตชิ้นส่วนหรืออะไหล่ในการซ่อมสร้างเรือ ไม่ว่าจะเป็นความร่วมมือจากภาคเอกชนหรือการดำเนินงานโดยกรมอู่ทหารเรือเองจะเป็นกลไกที่สำคัญที่ทำให้การซ่อมสร้างเรือของกรมอู่ทหารเรือมีประสิทธิภาพด้วยการขจัดข้อจำกัดการรอชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ต้องจัดหาจากต่างประเทศซึ่งใช้เวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่สร้างตามความต้องการของลูกค้า

7 ใบจักรชุดเรือ ต.991 ที่หล่อด้วยวิธีไม่ใช้ไม้แบบ (Patternless Sand Casting)

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) วิศวกรรมย้อนรอยเพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ใหม่และอะไหล่ทดแทน, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2554
2. ดร.มณฑลี ศาสนนันทน์. การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพ 2546
3. สัมภาษณ์ “นัฎฐินี วลัญช์อารยะ” วิศวกรออกแบบ บริษัท สปีด ทรีดี โมลด์ จำกัด, เมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2557

เอกสารอ้างอิงทางอินเตอร์เน็ต

(1) www.speed3dmold.com สืบค้นเมื่อ 19 ตุลาคม พ.ศ.2557

(2) http://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine#cite_note5- สืบค้นเมื่อ 19 ตุลาคม พ.ศ.2557

(3) http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม พ.ศ.2558

(4) http://www.astm.org/Standard/ http://www.astm.org/Standard/ สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม พ.ศ.2558

การหล่อเหวี่ยงแบบแนวนอนแบบประหยัด
ด้วยปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายหล่อ

นาวาโท นพดล ตันวัฒนะ
หัวหน้านายช่าง โรงงานเครื่องกล แผนกโรงงานเครื่องกล
กองโรงงาน อู่ทหารเรือธนบุรี กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

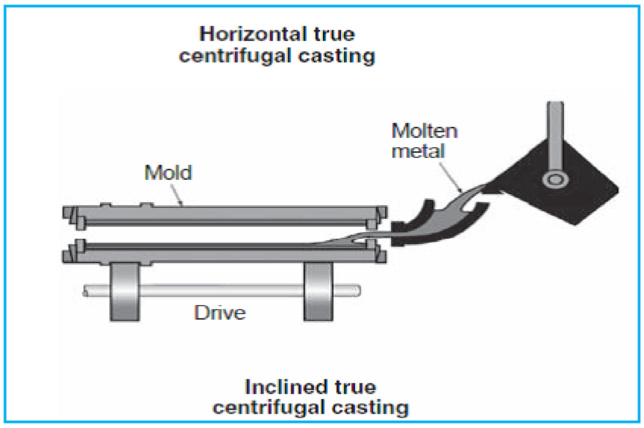
การหล่อเหวี่ยงได้มีการใช้งานในหลายลักษณะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของชิ้นงาน กรมอู่ทหารเรือได้สร้างเครื่องหล่อเหวี่ยงแบบแนวนอน (Horizontal True Centrifugal Casting) ขึ้น ไว้ใช้งานสำหรับการหล่อชิ้นงานที่มีลักษณะกลวง เช่น ปลอกรัดเพลาใบจักร โดยในกระบวนการสร้างเครื่องหล่อเหวี่ยง ฯ นั้น ได้มีการพัฒนาแบบหล่อเหวี่ยงให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของงานสำหรับกรมอู่ทหารเรือ ซึ่งไม่ได้ต้องการปริมาณการผลิตชิ้นงานในจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาแบบหล่อเหวี่ยงเป็นแบบปลอกเหล็กที่มีการรองพื้นด้วยทรายหล่อ แทนที่แบบหล่อเหวี่ยงเหล็กแบบทั่วไป ซึ่งจำเป็นต้องประกอบด้วยเครื่องมือเฉพาะในการถอดชิ้นงานออกจากแบบ

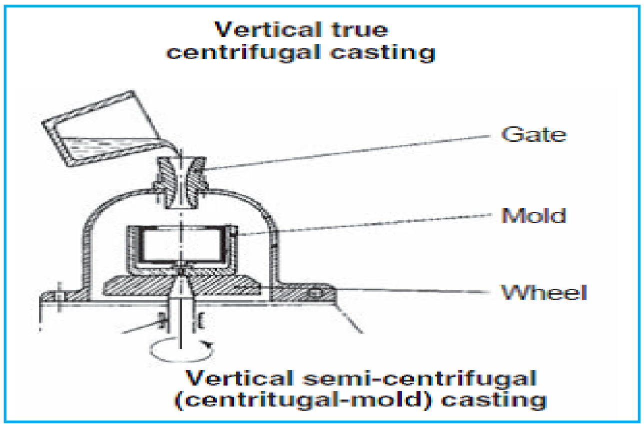
แบบหล่อเหวี่ยงแบบปลอกเหล็กที่มีการรองพื้นด้วยทรายหล่อทำให้สามารถทำการถอดชิ้นงานออกจากแบบได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะในการทำงาน การพัฒนาแบบหล่อเหวี่ยงฯ ประกอบด้วย การทดลองใช้ทรายหล่อที่มีใช้ในการหล่อแบบคงที่ของกรมอู่ทหารเรือ จำนวน 3 ประเภท ทรายเรซิ่น ทราย CO_2 ทรายชื้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าแบบหล่อเหวี่ยงที่รองพื้นด้วยทรายชื้นนั้น ให้ประสิทธิภาพในการหล่อเหวี่ยงที่ดี สามารถขึ้นรูปทรายในปลอกเหล็กได้สะดวก ถอดไส้แบบและชิ้นงานได้ง่าย โดยชิ้นงานที่ได้จากการหล่อเหวี่ยงด้วยแบบหล่อเหวี่ยงรองพื้นด้วยทรายชื้นมีผิวที่เรียบสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการนำเป็นขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลต่อไป การพัฒนาแบบหล่อเหวี่ยงแบบปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายชื้นจึงช่วยประหยัดงบประมาณอีกทั้งยังมีความเหมาะสมต่อการใช้งานเครื่องหล่อเหวี่ยงของกรมอู่ทหารเรืออีกด้วย

การหล่อเหวี่ยงถูกคิดค้นในปี ค.ศ.1918 โดยนาย Dimitri Sensaud Delavaud ซึ่งเป็นชาวบราซิล โดยปัจจุบันอัตราส่วนของการหล่อเหวี่ยงคิดเป็น 15% ของกระบวนการหล่อทั้งหมดของโลก เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักวัสดุที่ใช้ในการหล่อ โลหะทุกชนิดที่สามารถหล่อด้วยการหล่อแบบคงที่ (การหล่อโดยอาศัยน้ำหนักของโลหะหลอมเหลวในการไหลเข้าในแบบหล่อ) ได้ก็สามารถทำการหล่อด้วยการหล่อเหวี่ยงได้ เช่น Carbon and Alloy Steels, Gray Iron, Ductile and Nodular Iron, High - Alloy Irons, Stainless Steels, Aluminum Alloys, Copper Alloys, Magnesium Alloys เป็นต้น เทคนิคการหล่อเหวี่ยงถูกใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรูกลวง (Hollow Components) โดยชิ้นส่วนตัน (Solid Part) ก็มีปรากฏในการหล่อแบบแรงเหวี่ยง แต่พบในปริมาณไม่มาก เครื่องหล่อเหวี่ยงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท โดยแบ่งตามทิศทางแกนหมุนและลักษณะของการไหลของน้ำโลหะหลอมเหลวในขณะไหลเข้าแบบหล่อเหวี่ยง

1. True Centrifugal Casting (รูปที่ 1) เป็นกระบวนการหล่อที่สามารถหล่อได้ในแนวตั้ง แนวนอน และแนวเอียงโดยการหล่อชนิดนี้แม่พิมพ์จะหมุนรอบแกนตัวเองที่ความเร็วสูงประมาณ 300-3,000 รอบ/นาที เพื่อให้น้ำโลหะถูกเหวี่ยงไปอยู่ที่ผนังแม่พิมพ์ การหล่อแบบแรงเหวี่ยงชนิดนี้ถูกใช้ในการผลิตงานหล่อรูปทรงกระบอก ท่อหรือวงแหวน ผลของการหล่อเหวี่ยงส่งผลให้ชิ้นงานหล่อมีคุณสมบัติทางกลดีกว่าชิ้นงานที่หล่อด้วยการหล่อแบบคงที่ โดยมีคุณสมบัติทางกลคงที่สม่ำเสมอในแนวเส้นรอบวงและแนวแกนการหมุนเหวี่ยง แต่การหล่อแบบคงที่บริเวณด้านล่างของชิ้นงาน อาจมีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างไปจากบริเวณส่วนบนของชิ้นงานหล่อ

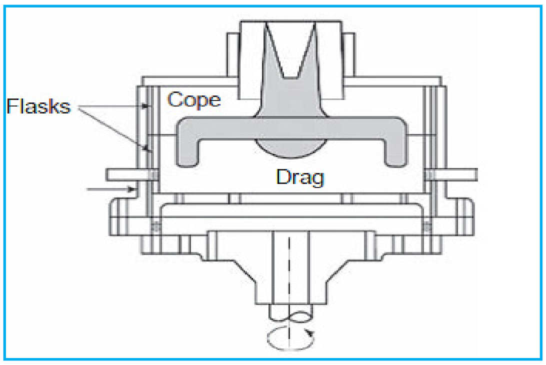
ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของน้ำโลหะบริเวณด้านล่างของชิ้นงานได้รับแรงดันที่มากกว่าด้านบน เนื่องจากน้ำหนักของน้ำโลหะที่เพิ่มตามความสูงของแบบหล่อ





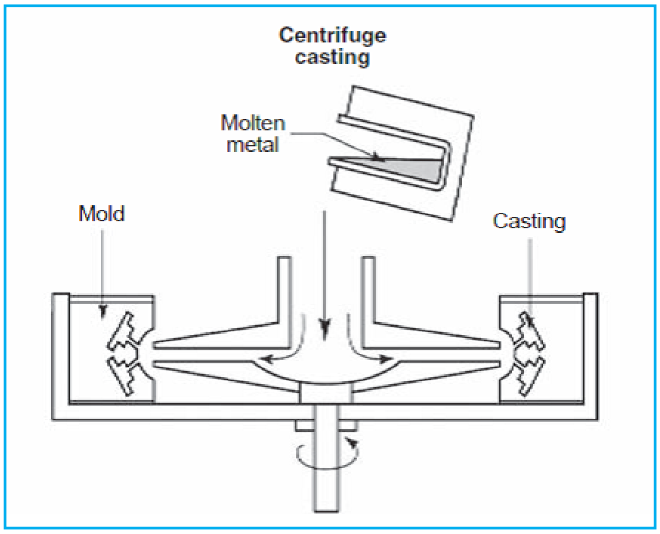
1 True Centrifugal Casting

2. Semicentrifugal Casting (รูปที่ 2) เป็นการหล่อเหวี่ยงที่แม่พิมพ์หมุนรอบแกนหมุนของตัวเอง แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะเหวี่ยงน้ำโลหะให้กระจายตัวไปยังผนังของแม่พิมพ์และสามารถแทรกซึมเข้าถึงทุกส่วนของแม่พิมพ์ได้ดี การหล่อเหวี่ยงในลักษณะนี้มีความเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกที่มีผนังบาง ชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนอยู่บริเวณด้านผิวนอกส่วนบริเวณด้านในนั้นมีลักษณะเรียบ เช่น เรือนของมอเตอร์ ใบพัด (Impeller) ซึ่งหากทำการหล่อชิ้นงานเหล่านี้ด้วยการหล่อแบบคงที่แล้ว อาจทำให้บริเวณชิ้นงานที่ซับซ้อน เช่น ครีบระบายความร้อนของเรือนมอเตอร์เกิดความบกพร่อง เนื่องจากน้ำโลหะไม่สามารถไหลเข้าไปในแบบหล่อได้อย่างสมบูรณ์



2 Semicentrifugal Casting

3. Centrifugal Casting หรือ Centrifugal Die (รูปที่ 3) การหล่อในลักษณะนี้เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีความซับซ้อน มีขนาดเล็กถึงปานกลาง แบบหล่อเหวี่ยงประเภทนี้มีความซับซ้อนในเรื่องระบบการไหลของน้ำโลหะหลอมเหลวจากบริเวณแกนหมุนเข้าไปยังแบบหล่อแต่ละส่วนที่อยู่ในแนวรัศมี น้ำโลหะหลอมเหลวจะถูกเหวี่ยงให้ไหลตามช่องทางวิ่งที่ได้ออกแบบไปยังแบบหล่อซึ่งวางตัวอยู่โดยรอบของแกนหมุน ด้วยการจัดเรียงแบบหล่อของการหล่อของชิ้นงานที่สามารถกระจายตัวอยู่โดยรอบ ทำให้การหล่อด้วยวิธี Centrifugal Casting สามารถหล่อชิ้นงานได้เป็นจำนวนมากต่อการหล่อ 1 ครั้ง



3 Centrifugal Casting

กรมอู่ทหารเรือได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องหล่อเหวี่ยงแบบแนวนอนสำหรับการหล่อเหวี่ยงประเภท True Centrifugal Casting ที่โรงงานหล่อหลอมและไม้แบบ แผนกโรงงานเครื่องกล กองโรงงาน อู่ทหารเรือธนบุรี กรมอู่ทหารเรือ (รูปที่ 4) จุดประสงค์ของการวิจัยก็เพื่อพัฒนาคุณภาพงานหล่อสำหรับชิ้นงานประเภททรงกระบอกกลวง เช่น ปลอกรัดเพลาใบจักร ซึ่งบ่อยครั้งที่ชิ้นงานประเภทนี้มีการตรวจพบปัญหาการบกพร่องของชิ้นงานจากการหล่อแบบคงที่ ผู้แต่งในฐานะนายทหารโครงการของงานวิจัยนี้จึงขอนำส่วนหนึ่งของการดำเนินงานมาเผยแพร่ โดยขอกล่าวถึงการสร้างแบบหล่อเหวี่ยงซึ่งพิจารณาได้ว่าเป็นหัวใจของงานหล่อเหวี่ยงแบบ True Centrifugal Casting แบบหล่อเหวี่ยงที่ได้รับการพัฒนาในระหว่างการสร้างเครื่องต้นแบบ ฯ เป็นแบบหล่อเหวี่ยงแบบประหยัดที่สร้างขึ้นจากปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายหล่อ (ทรายที่ใช้ในงานหล่อแบบคงที่ ซึ่งมีหลายประเภท เช่น ทรายเรซิ่น (Resin-Sand), ทราย CO_2 และ ทรายชื้น (Green Sand)) แทนการใช้แบบหล่อเหวี่ยงเหล็กที่ต้องมีการขึ้นรูปให้ได้ขนาดตามต้องการ อีกทั้งยังจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะในการถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อ

4 เครื่องหล่อเหวี่ยงต้นแบบที่โรงงานหล่อหลอมและไม้แบบ

1. การดำเนินงาน

การดำเนินงานประกอบด้วยการศึกษาคุณสมบัติและรูปแบบของการนำทรายหล่อประเภทต่าง ๆ มาใช้ในงานหล่อเหวี่ยง โดยมีวัตถุประสงค์ของการนำทรายหล่อมาใช้รองพื้นในปลอกเหล็ก เพื่อเป็นแบบในการหล่อเหวี่ยง คุณสมบัติที่สำคัญของทรายหล่อที่สำคัญประกอบด้วย ความโปร่งอากาศ (Permeability) ความแข็งแรงในสภาพที่มีความชื้นอยู่ (Green Strength) ความแข็งแรงในสภาพแห้ง (Dry Strength) และคุณสมบัติความคงทนต่อความร้อน (Refractoriness) ทรายหล่อที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ทรายเรซิ่น (Resin - Sand), ทราย CO_2 และทรายชื้น (Green Sand) ทั้งนี้ทรายหล่อทั้ง 3 ประเภทนี้เป็นทรายหล่อที่มีการใช้งานปกติในการหล่อแบบคงที่ที่โรงงานหล่อหลอมและไม้แบบ ฯ การดำเนินการสร้างแบบหล่อเหวี่ยงแบบปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายหล่อ เริ่มต้นจากการพิจารณาปลอกเหล็กให้มีขนาดที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางโตในของปลอกเหล็กควรต้องมีขนาดที่มากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางโตนอกของชิ้นงานประมาณ 5-7 ซ.ม. ทั้งนี้เพื่อให้มีพื้นที่ว่างรอบตัวที่เพียงพอต่อการขึ้นรูปทรายหล่อภายในปลอกเหล็ก การขึ้นรูปทรายหล่อจำเป็นต้องมีไส้แบบ (ชิ้นส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูปทรายหล่อ โดยทำให้เกิดช่องว่างภายในแบบหล่อของชิ้นงานที่มีลักษณะกลวง) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตนอกที่ใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตในของชิ้นงาน 1-1.5 ซ.ม. ทั้งนี้เพื่อให้มีเนื้อชิ้นงานเหลือเพียงพอในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องมือกลให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ไส้แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปทรายหล่อจะมีการถอดออกหลังจากที่ทำการบรรจุทรายหล่อเข้าจนเต็มช่องว่างแล้ว โดยรายละเอียดของการดำเนินการส่วนนี้จะแตกต่างกันไปตามประเภทของทรายหล่อ ทั้งนี้จะได้กล่าวในเนื้อหาส่วนต่อไป

1.1 ปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายเรซิ่น คือแบบหล่อเหวี่ยงที่ใช้ปลอกเหล็กแล้วรองพื้นด้วยทรายเรซิ่น ซึ่งต่อไปจะขอเรียกแบบหล่อนี้เพื่อความกระชับว่า “แบบหล่อทรายเรซิ่น” แนวคิดจากใช้แบบหล่อทรายเรซิ่นนั้น คือ การใช้คุณลักษณะเฉพาะของทรายเรซิ่น (Resin - Sand) ซึ่งมีส่วนผสมของทรายซิลิกากับเรซิ่น เมื่อได้รับความร้อนที่ประมาณ 230 °C - 315 °C ทรายเรซิ่นก็จะเกิดการแข็งตัว (Curing) ทรายเรซิ่นมักนิยมใช้กับงานหล่อที่ชิ้นงานมีรูปทรงซับซ้อน เช่น งานหล่อของที่ระลึกจำพวกรูปเสมือน ทรายเรซิ่นมีคุณสมบัติที่สามารถทำการรื้อแบบ (การรื้อทำลายแบบหล่อเพื่อแกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ) ได้ง่าย เพราะแบบทรายเรซิ่นที่ได้รับความร้อนจากน้ำโลหะในกระบวนการหล่อจะมีลักษณะที่ร่วน จึงทำให้สามารถรื้อแบบได้ด้วยการเคาะหรือกระแทกที่แบบหล่อเท่านั้น ทรายเรซิ่นก็จะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ นอกจากนี้การสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงก็สามารถทำให้ทรายเรซิ่นแตกตัวและหลุดออกจากแบบได้เช่นกัน ในขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อให้ทรายเรซิ่นเกิดการแข็งตัว ได้มีการให้ความร้อนทั้งด้านนอกและด้านในของแบบหล่อทรายเรซิ่น (รูปที่ 5) เมื่อสังเกตเห็นว่าทรายเรซิ่นได้แข็งตัวอย่างทั่วถึงแล้วก็เลิกทำการให้ความร้อน และดำเนินการถอดไส้แบบออกจากแบบหล่อทรายเรซิ่นก่อนที่จะทำการหล่อเหวี่ยง

5 การทำแบบหล่อทรายเรซิ่น

1.2 ปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทราย CO_2 ซึ่งต่อจากนี้จะขอเรียกว่า “แบบหล่อทราย CO_2” แนวคิดของการใช้ทราย CO_2 มารองพื้นปลอกเหล็กนั้นก็ด้วยที่คุณสมบัติของทราย CO_2 ซึ่งเป็นทรายที่มีส่วนผสมของน้ำแก้ว (Liquid Silica Binder) โดยจะแข็งตัวเมื่อมีการฉีดก๊าซ CO_2 เข้าไปในทรายที่ผสมน้ำแก้วแล้ว ทราย CO_2 มีใช้โดยทั่วไปในโรงหล่อต่าง ๆ เพราะความสะดวกในการทำแบบหล่อโดยสามารถสร้างแบบหล่อได้โดยการสร้างแบบหล่อจากทรายที่ผสมน้ำแก้ว (ยังไม่แข็งตัวแต่มีความเหนียวและสามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย) เมื่อขึ้นรูปจนได้รูปทรงตามที่ต้องการแล้ว ก็ทำการฉีดก๊าซ CO_2 เข้าไปในเนื้อทราย ก๊าซ CO_2 จะทำปฏิกิริยากับน้ำแก้วทำให้ซิลิกาเจลที่อยู่รอบ ๆ ทรายตกผลึกและเกิดการแข็งตัว ทราย CO_2 ที่ใช้สำหรับทำแบบหล่อมีคุณลักษณะที่โดดเด่นในเรื่องของความแข็งแรงและการยึดเกาะได้ดี ทราย CO_2 จึงนิยมใช้ในการทำแบบหล่อที่ประกอบด้วยแบบหล่อจำนวนหลายชิ้น โดยการประกอบแบบหล่อแต่ละชิ้นจำเป็นต้องมีการจัดเรียงเพื่อให้ได้ตำแหน่งการประกอบที่เหมาะสม ทั้งนี้หากเป็นทรายหล่อประเภทอื่นก็อาจแตกหักหรือเสียหายได้เมื่อทำการเคลื่อนย้าย ทราย CO_2 ยังมีคุณสมบัติเด่นในการปั้นขึ้นรูปได้ง่าย แต่ข้อจำกัดของทราย CO_2 คือเรื่องการแข็งตัวและไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ซึ่งทำให้การรื้อแบบกระทำได้ยากโดยเฉพาะชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนเพราะทราย CO_2 จะฝังตัวแน่นตามซอกและมุมอับต่าง ๆ ซึ่งในทางปฏิบัติของการหล่อแบบคงที่จึงมักมีการใช้ทราย CO_2 เท่าที่จำเป็นเท่านั้น

ด้วยชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการสร้างเครื่องหล่อเหวี่ยงในงานวิจัยนี้คือ ปลอกรัดเพลาใบจักรของเรือหลวงเทพาซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีความยาว 85 ซ.ม. จึงทำให้การฉีดก๊าซ CO_2 เข้าในเนื้อทรายหล่อที่บรรจุในปลอกเหล็กแล้วจึงทำได้ไม่ทั่วถึง และการที่จะฉีดก๊าซผ่านเนื้อของทราย CO_2 ที่บริเวณด้านปลายทั้งสองด้านก็ไม่สามารถทำให้ก๊าซ CO_2 กระจายตัวได้ครอบคลุมพื้นที่เนื้อของทราย CO_2 ได้ ดังนั้นจึงได้พิจารณาเจาะรูที่ปลอกเหล็กเพื่อฉีดก๊าซ CO_2 โดยทำการเจาะรูให้กระจายเต็มพื้นที่ของปลอกเหล็ก (รูปที่ 6) ข้อควรระวังในขั้นตอนของการฉีดก๊าซ CO_2 คือ ให้กำหนดระยะหัวฉีดก๊าซ CO_2 ให้ฝังตัวลึกเข้าไปในเนื้อทรายที่ระยะกึ่งกลางของความหนา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของน้ำโลหะเหลวในขั้นตอนของการหล่อเหวี่ยง

6 การทำแบบหล่อทราย CO_2

1.3 ปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายชื้น (Green Sand) หรือ "แบบหล่อทรายชื้น" เป็นแนวคิดที่ได้จากการพิจารณาคุณสมบัติของทรายชื้น ที่หลังจากได้รับความร้อนจากน้ำโลหะหลอมเหลวในกระบวนการหล่อ สามารถทำให้แตกหักได้ง่าย ด้วยแนวคิดนี้การรื้อแบบของแบบหล่อทรายชื้น ก็สามารถทำได้ง่ายกว่าแบบหล่อทราย CO_2 ทรายชื้นเป็นที่นิยมในการหล่อแบบคงที่ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ทำแบบง่าย อีกทั้งทรายชื้นที่ผ่านการใช้งานแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีก ส่วนผสมหลักของทรายชื้น ประกอบด้วยทราย ตัวประสาน (Binder) น้ำ และสารเสริมคุณสมบัติ (Special Additives) ที่โรงงานหล่อหลอมและไม้แบบ ฯ ส่วนผสมของทรายชื้นที่ใช้ในการทำแบบหล่อประกอบด้วย เบนโทไนต์ 7 % แป้งข้าวโพด 3 % น้ำ 2 % โดยแป้งข้าวโพดเป็นส่วนที่ทำให้ทรายชื้นเกิดการยึดตัวกัน เบนโทไนต์เมื่อผสมกับน้ำก็ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของทรายชื้นตามรูปทรงที่ถูกอัดแน่น ด้วยส่วนผสมที่ไม่ยุ่งยากจึงทำให้ทรายชื้นมีราคาต้นทุนที่ถูกกว่าทรายเรซิ่น และทราย CO_2 แต่ทั้งนี้ทรายชื้นก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความชื้นที่ตกค้างในแบบทราย ดังนั้นการใช้งานทรายชื้น จึงจำเป็นต้องมีการอบแบบในเตาอบเพื่อไล่ความชื้นออก

การสร้างแบบหล่อทรายชื้นเริ่มต้นด้วยการอัดทรายชื้นให้แน่นภายในช่องว่างระหว่างปลอกเหล็กและไส้แบบซึ่งถูกบังคับให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางร่วมกับปลอกเหล็ก (รูปที่ 7) โดยใส่ทรายชื้นที่ผสมเรียบร้อยแล้วลงในแบบทีละน้อยสลับกับการอัดแน่นก่อนที่จะเติมทรายชื้นในชั้นต่อไป เมื่อทรายชื้นถูกอัดแน่นจนเต็มปลอกเหล็กแล้วก็ทำการแทงรูระบายไอ ที่ตำแหน่งของรูที่ได้เจาะไว้บนแบบหล่อเหล็ก (รูที่ออกแบบไว้สำหรับการฉีดก๊าซ CO_2 ในกรณีของแบบหล่อทราย CO_2) จากนั้นจึงดำเนินการถอดไส้แบบออก การอบแบบหล่อทรายชื้นใช้อุณหภูมิในการอบที่ 200 °C เป็นเวลา 6 ช.ม. (การผึ่งอากาศก็สามารถกระทำได้แต่ใช้เวลานานกว่าแบบหล่อทรายจะแห้ง)

7 การทำแบบหล่อทรายชื้น

2. ผลการทดลอง

แบบหล่อทราย CO_2 เป็นหนึ่งในแบบหล่อเหวี่ยงแบบใช้ทรายรองพื้นที่ให้ผลการหล่อที่ดี โดยคุณสมบัติของทราย CO_2 จะมีการแข็งตัวหลังจากที่มีการฉีดก๊าซ CO_2 ทำให้การนำไส้แบบออกจากแบบหล่อทราย CO_2 สามารถกระทำได้ง่าย ไส้แบบสามารถดึงออกไปพร้อม ๆ กับการฉีดก๊าซ CO_2 โดยต้องมีการลำดับขั้นตอนการฉีดก๊าซ CO_2 และถอดไส้แบบให้สัมพันธ์กันเพื่อให้ทรายที่ผ่านการฉีดแก๊ส CO_2 เกิดการแข็งตัวก่อนที่จะทำการถอยไส้แบบออกไปยังตำแหน่งการฉีดแก๊ส CO_2 ถัดไป แต่ทั้งนี้การหล่อเหวี่ยงด้วยแบบหล่อทราย CO_2 มีข้อจำกัดในเรื่องการรื้อแบบเพราะทราย CO_2 ซึ่งแข็งคล้ายหินทรายและแทรกตัวอยู่ระหว่างชิ้นงานและปลอกเหล็กจึงทำให้รื้อแบบได้ยาก ซึ่งข้อจำกัดนี้แตกต่างจากการหล่อเหวี่ยงด้วยแบบหล่อทรายเรซิ่นและทรายชื้นที่สามารถรื้อแบบได้ง่ายเพียงการกระแทกหรือเคาะโดยรอบปลอกเหล็ก การรื้อแบบของการหล่อเหวี่ยงด้วยแบบหล่อทรายเรซิ่นและทรายชื้นนั้นกระทำได้ง่ายและสะดวกโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบหล่อทรายเรซิ่นที่เพียงเปิดฝาปิดหัว-ท้ายของแบบหล่อออก แล้วยกแบบหล่อขึ้นตามแนวยาวชิ้นงานก็สามารถหลุดออกมาได้เอง ส่วนแบบหล่อทรายชื้นนั้นหลังจากเปิดฝาปิดหัวท้ายออกจากนั้นทำการเคาะที่ปลอกเหล็กให้ทั่ว ชิ้นงานก็สามารถหลุดออกมาเองได้ (รูปที่ 8) แม้ว่าขั้นตอนการหล่อเหวี่ยงด้วยแบบทรายหล่อทั้งสองประเภทมีความสะดวกในการปฏิบัติงานทั้งในเรื่องการถอดไส้แบบและการรื้อแบบ แต่ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อทรายเรซิ่นมีข้อบกพร่อง (Defect) เกิดขึ้นในทางตรงกันข้าม ชิ้นงานจากการหล่อด้วยแบบทรายชื้นให้ผลดี ซึ่งความแตกต่างของชิ้นงานมีดังนี้

8 การรื้อแบบหล่อทรายชื้นและแบบหล่อทรายเรซิ่น

ชิ้นงานจากการหล่อด้วยแบบทรายเรซิ่นมีลักษณะความผิดปกติที่ผิวด้านนอกของชิ้นงาน โดยมีลักษณะเหมือนเนื้อโลหะ สามารถแทรกซึมเข้ามายังเนื้อทรายเรซิ่นได้ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยมีลักษณะการแทรกของโลหะเป็นไปอย่างกระจัดกระจาย โดยภายหลังของการขจัดทรายเรซิ่นแล้ว ก็จะพบว่าส่วนของโลหะที่มีการแทรกตัวในทรายนั้น มีลักษณะเป็นใยเชื่อมประสานต่อกันเสมือนกับว่าน้ำโลหะได้มีการแทรกซึมเข้าไปในทรายเรซิ่นตลอดความยาวของชิ้นงาน นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณที่น้ำโลหะตกจากอ่างเทแล้วปะทะสู่แบบหล่อทรายเรซิ่นเป็นบริเวณที่เกิดความผิดปกติมากสุด จากการศึกษาถึงลักษณะของความผิดปกติดังกล่าวพบว่าเป็นความผิดปกติที่เรียกว่า “Sand and Slag Inclusions” โดยมีความเป็นได้จาก 2 สาเหตุ ประการแรก คือ ผิวหน้าทรายเรซิ่นไม่สามารถทนต่อแรงปะทะจากน้ำโลหะที่ไหลเข้าไปในแบบหล่อทรายเรซิ่น และประการที่สอง คือ แรงสั่นสะเทือนของแบบหล่อเหวี่ยงสูงเกินที่ทรายเรซิ่นจะทนได้ จึงทำให้ผิวหน้าของทรายเรซิ่นเกิดความเสียหายในระหว่างการหล่อเหวี่ยง

9 ข้อบกพร่องจากการหล่อด้วยแบบหล่อทรายเรซิ่น

แต่สำหรับการหล่อด้วยแบบหล่อทรายชื้นนั้น ชิ้นงานมีความสมบูรณ์ทั้งด้านนอกและด้านใน ไม่มีปรากฏความผิดปกติเกิดขึ้น (รูปที่ 10) จากที่กล่าวในข้างต้นจึงพิจารณาได้ว่าแบบหล่อทรายชื้นนั้นมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดจากแบบหล่อที่ได้ทำการทดลองในครั้งนี้ อีกทั้งยังเป็นแบบหล่อเหวี่ยงที่ทำงานสะดวกทั้งในขั้นตอนของการถอดไส้แบบ และการรื้อแบบ

10 ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยแบบทรายชื้น

3. วิเคราะห์และสรุปผล

จากการทดลองแบบหล่อเหวี่ยงแบบปลอกเหล็กรองพื้นด้วยทรายหล่อจำนวน 3 ประเภท แบบหล่อทราย CO_2 แบบหล่อทรายเรซิ่น แบบหล่อทรายชื้น ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การศึกษาด้านคุณสมบัติของทรายหล่อประเภทต่าง ๆ การขึ้นรูปแบบหล่อการถอดไส้แบบและการรื้อแบบ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า แบบหล่อทราย CO_2 มีปัญหาเรื่องการรื้อแบบที่ทำได้ยากเพราะทราย CO_2 ติดแน่นระหว่างชิ้นงานกับปลอกเหล็ก แต่ชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อทราย CO_2 นั้นมีรูปร่างที่สมบูรณ์ ไม่มีข้อบกพร่องที่เห็นชัดได้จากการสังเกตด้วยสายตา แบบหล่อทรายเรซิ่นมีปัญหาที่คุณภาพชิ้นงานหล่อมีลักษณะการแทรกของน้ำโลหะกับเนื้อทรายเรซิ่น ทั้งนี้ได้พิจารณาว่าทรายเรซิ่นขาดคุณสมบัติด้านความแข็งแรงในสภาพแห้ง (Dry Strength) โดยเฉพาะเมื่อต้องรับการสั่นสะเทือนภายใต้การหมุนของเครื่องหล่อเหวี่ยง จึงทำให้เป็นสาเหตุของการที่มีน้ำโลหะแทรกตัวลงไปในเนื้อของทรายเรซิ่นได้ ส่วนแบบหล่อทรายชื้นพบว่าสามารถรองรับการหล่อเหวี่ยงได้ดี สะดวกในการขึ้นรูป โดยมีความเหนียวในขณะทำการขึ้นรูปและสามารถคงรูปได้ดีทั้งในสภาวะชื้นและแห้ง ทนความร้อนของน้ำโลหะได้ การถอดไส้แบบสามารถกระทำได้ง่าย การรื้อแบบก็สามารถกระทำได้ง่ายด้วยการใช้ค้อนเคาะที่ปลอกเหล็กโดยรอบ ชิ้นงานก็จะหลวมจากทรายชื้นและสามารถเคลื่อนตัวออกจากแบบหล่อได้โดยง่าย นอกจากนี้ในมุมด้านเศรษฐกิจแบบทรายชื้นมีราคาต้นทุนต่ำมากกว่าแบบหล่อเหวี่ยงประเภทอื่น ๆ ที่ได้กล่าวในข้างต้นอีกด้วย ดังนั้นจึงพิจารณาได้แบบหล่อเหวี่ยงชนิดแบบหล่อทรายชื้นเป็นแบบหล่อเหวี่ยงที่ประหยัดทั้งในเรื่องต้นทุนต่ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ มีประสิทธิภาพทั้งในเรื่องขั้นตอนการปฏิบัติงาน การขึ้นรูป การถอดไส้แบบ การรื้อแบบ และที่สำคัญคือมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการหล่อเหวี่ยง

เอกสารอ้างอิง

1. Sufei Wei, Centrifugal Casting, The Centrifugal Casting Machine Company and Steve Lampman, ASM International, Vol.5, p.2008 ,673-667
2. Nathan Janco, Centrifugal Casting, American Foundry Society, Ililois USA, 1988

การผลิตและซ่อมแซมใบจักรเรือ
แบบแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์เพื่อทดแทนการนำเข้า

นาวาโท เสวียง เถื่อนบุญ
หัวหน้านายช่าง โรงงานหล่อหลอมและไม้แบบ แผนกโรงงานเครื่องกล
กองโรงงาน อู่ทหารเรือธนบุรี กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

โครงวิจัยการผลิตและซ่อมแซมใบจักรเรือแบบแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์เพื่อทดแทนการนำเข้า มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษา วิเคราะห์ และผลิตใบจักรเรือแบบ Voith Schneider ด้วยแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกรด G-CuAl8Mn8 เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ และ ศึกษาให้เข้าใจถึงอิทธิพลของการเชื่อมซ่อมต่อการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในใบจักรเรือแบบ Voith Schneider เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเชื่อมซ่อมใบจักรในอนาคต โดยเป็นโครงการร่วมวิจัยระหว่าง กรมอู่ทหารเรือ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การดำเนินการได้แบ่งงานเป็นโครงการย่อย จำนวน 4 กิจกรรม ได้แก่ 1. การตีขึ้นรูปร้อนใบจักรเรือแบบแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ (VSP) 2. กระบวนการหล่อใบจักรแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ 3. การวิเคราะห์ความเค้นและปรับปรุงความแข็งแรงของใบจักรเรือแบบ Voith Schneider 4. อิทธิพลของการเชื่อมซ่อมต่อการกัดกร่อนของใบจักรแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ผลการดำเนินงานทำให้สามารถ 1. พัฒนาวิธีการขึ้นรูปใบจักรด้วยวิธีการหล่อแล้วกลึงขึ้นรูปโดยสามารถผลิตใบจักรต้นแบบซึ่งมีมิติตามแบบของใบจักร VSP 2. วิเคราะห์ความเค้น โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลองกับใบจักรแบบย่อส่วนพบว่า ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างด้ามใบจักรกับตัวใบ 3. แนวทางการเชื่อมซ่อมใบจักร VSP โครงการวิจัยฯ ทำการเชื่อมซ่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมมิกและใช้ลวดเชื่อม AMPCO-TRODE 40 (AWS 5.7 Class CuMnAl) 4. ทดลองตีขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ด้วยการตีแบบ Cogging ที่อุณหภูมิ ตามหลักการของ Severe Plastic Deformation (SPD)

บทนำ

สงครามทุ่นระเบิดมีความสำคัญทั้งในด้านยุทธศาสตร์ ยุทธวิธี และสงครามจิตวิทยาในการรบทางน้ำเป็นอย่างมาก โดยหากมีการวางทุ่นระเบิดในตำแหน่งการเดินเรือที่สำคัญจะทำให้การคมนาคมทางน้ำของเรือพาณิชย์และการเคลื่อนกำลังของเรือรบไม่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือแม้แต่การปล่อยข่าวลวงถึงการวางทุ่นระเบิดในตำแหน่งการเดินเรือต่าง ๆ ก็จะส่งผลทางจิตวิทยาและการเคลื่อนกำลังของเรือรบเช่นเดียวกัน การกวาดหรือการล่าทำลายทุ่นระเบิดเป็นวิธีการต่อต้านทุ่นระเบิดที่จะดำเนินการย้ายหรือทำลายทุ่นระเบิดให้หมดไปจากพื้นที่ที่ต้องการ เพื่อเปิดเส้นทางการเดินเรือที่สำคัญ

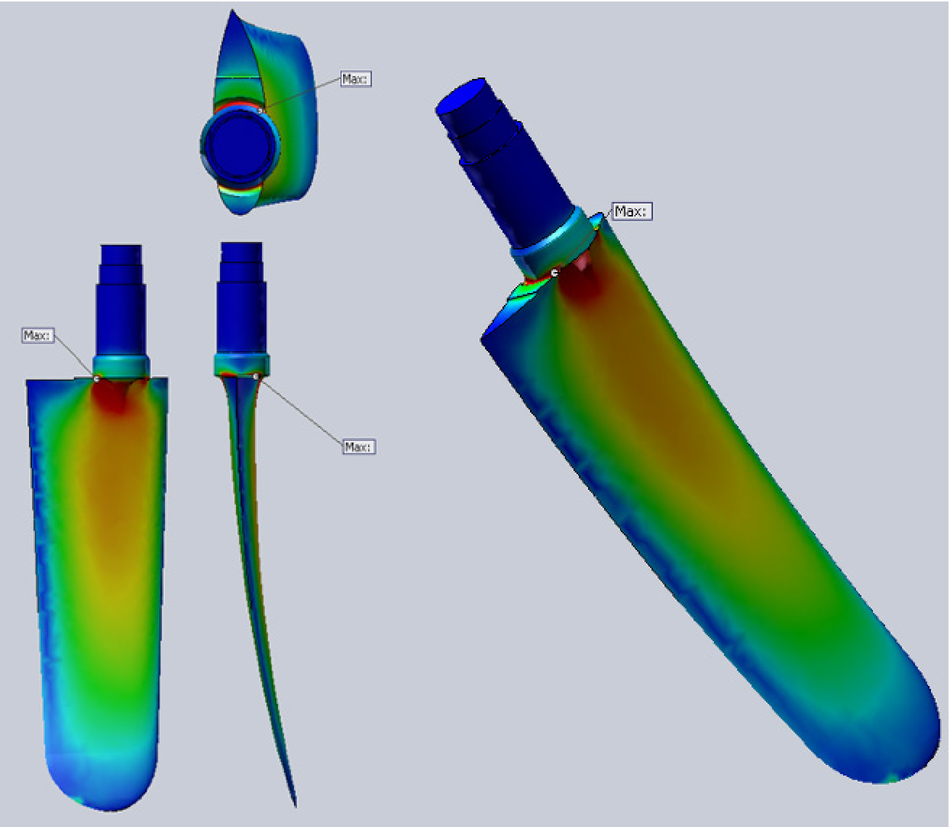
เรือหลวงลาดหญ้าและเรือหลวงท่าดินแดงเป็นเรือล่าทำลายทุ่นระเบิดที่มีสมรรถนะและทันสมัยมากที่สุดชุดหนึ่งของกองทัพเรือไทย โดยเรือชุดนี้ได้ติดตั้งระบบใบจักรแบบ Voith Schneider Propeller (VSP) ซึ่งมีจุดเด่นในการบังคับเรือให้สามารถเลี้ยวหรือกลับลำเรือได้อย่างรวดเร็ว ระบบ VSP จึงมีความเหมาะสมกับเรือล่าทำลายทุ่นระเบิดซึ่งต้องการความคล่องตัวสูงในขณะปฏิบัติงาน

ใบจักรแบบ VSP ของกองทัพเรือไทยผลิตจากวัสดุแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกรด G-CuAl8Mn8 (Cu8-Al8-Mn1.5-Ni2-Fe) โดยเรือหนึ่งลำประกอบด้วยใบจักรแบบ VSP จำนวน 2 ชุด ชุดละ 5 ใบ รวมทั้งหมด 10 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากที่เรือชุดนี้เข้าประจำการเป็นเวลาประมาณ 14 ปี ใบจักรแบบ VSP หักบริเวณโคนใบจักรจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 1 ใบ ซึ่งมีลักษณะความเสียหายแบบ Corrosion Fatigue (รูปที่ 2) ทั้ง 3 ครั้ง โดยการหักของใบจักรแบบ VSP ครั้งแรกมีสาเหตุของความเสียหายจากการสูญเสียธาตุอะลูมิเนียม (Dealuminification) ออกไปจากแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ทำให้เนื้อโลหะบริเวณที่สูญเสียธาตุอะลูมิเนียมเกิดโพรงขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วเนื้อโลหะและกลายเป็นจุดสีแดง (รูปที่ 2) ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของใบจักรลดลง โดยเฉพาะบริเวณโคนใบจักรแบบ VSP ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นในขณะใช้งานสูงที่สุด (รูปที่ 3)

1 ใบจักรแบบ VSP ของเรือหลวงลาดหญ้า

2 สภาพความเสียหายและการเกิด Dealuminification ของใบจักรแบบ VSP ครั้งที่ 1

ใบจักรแบบ VSP ที่เหลืออีก 19 ใบที่ยังไม่หักเสียหาย กรมอู่ทหารเรือได้ว่าจ้างบริษัทภายในประเทศเพื่อซ่อมใบจักรให้สามารถใช้ราชการได้เหมือนเดิม การซ่อมใบจักรกระทำโดยการกำจัดเนื้อบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุอะลูมิเนียมออกและทำการเชื่อมซ่อมให้พื้นผิวของใบจักรกลับสู่สภาพปกติ แต่เมื่อนำใบจักรกลับมาใช้ราชการได้ระยะหนึ่งใบจักรแบบ VSP ก็หักเป็นครั้งที่ 2 บริเวณโคนใบจักรใต้แนวเชื่อมซ่อมด้วยลักษณะความเสียหายแบบ Corrosion fatigue (รูปที่ 4) ต่อมากรมอู่ทหารเรือได้ส่งใบจักรแบบ VSP ที่ยังอยู่ในสภาพดีไปเชื่อมซ่อมที่ประเทศสิงคโปร์ โดยมีค่าบริการและค่าขนส่งไป-กลับ รวมมูลค่ามากกว่าสิบล้านบาท แต่เมื่อนำมาใบจักรแบบ VSP กลับมาใช้งานได้ไม่นาน ใบจักรก็หักอีกเป็นครั้งที่ 3 บริเวณโคนใบจักรใต้แนวเชื่อมซ่อมด้วยลักษณะความเสียหายแบบ Corrosion fatigue เช่นเดิม (รูปที่ 4)



3 แสดงตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดบนใบจักรที่ได้จากการคำนวณเบื้องต้น

4 สภาพผิวหน้ารอยขาดของใบจักรแบบ VSP ครั้งที่ 2 (ซ้าย) และครั้งที่ 3 (ขวา)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษา วิเคราะห์ และผลิตใบจักรเรือแบบ Voith Schneider ด้วยแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกรด G-CuAl8Mn8 เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

2. ศึกษาให้เข้าใจถึงอิทธิพลของการเชื่อมซ่อมต่อการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในใบจักรเรือแบบ Voith Schneider เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเชื่อมซ่อมใบจักรในอนาคต

แนวทางการดำเนินงาน

การแก้ปัญหาใบจักรแบบ VSP โดยที่กรมอู่ทหารเรือสามารถพึ่งพาตนเองได้ทั้งในด้านการผลิตและการซ่อมแซมใบจักร จึงน่าจะเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาวที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากปัจจุบันกรมอู่ทหารเรือยังขาดองค์ความรู้ด้านโลหะวิทยา กระบวนการผลิต การเชื่อม การกัดกร่อน และการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นบนใบจักรขณะใช้งาน ทำให้ยังไม่สามารถผลิตและซ่อมแซมใบจักรแบบ VSP ได้เอง กรมอู่ทหารเรือจึงได้ร่วมมือกับอาจารย์และผู้เชี่ยวชาญของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ เพื่อทำการวิจัยแบบบูรณาการในการแก้ปัญหาของใบจักรแบบ VSP ทุกด้านในระยะยาว โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG5330019 ระยะเวลาการดำเนินการ 2 ปี (2557-2558)

ผลการดำเนินงาน

1. *ผลวิเคราะห์ความเสียหายของใบจักร VSP* ซึ่งเป็นองค์ความรู้สำคัญสำหรับการหาทางป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับใบจักร ซึ่งจากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของใบจักรพบว่าใบจักรสูญเสียธาตุอะลูมิเนียม (Dealuminification) ออกไปจากแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ทำให้เนื้อโลหะบริเวณที่สูญเสียธาตุอะลูมิเนียมเกิดโพรงขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วเนื้อโลหะและทำให้ความแข็งแรงของใบจักรลดลง โดยเฉพาะบริเวณโคนใบจักร ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นในขณะใช้งานสูงที่สุด เมื่อใบจักรต้องรับแรงแบบ cyclic load จึงทำให้ใบจักรหักเนื่องจากความล้า (fatigue) โดยมีจุดกำเนิดความล้าบริเวณโคนใบจักร จึงอาจกล่าวได้ว่าใบจักร VSP ได้รับความเสียหายจากการเกิด corrosion fatigue

แนวทางการป้องกันมีดังนี้ 1. การติดตั้งอะลูมิเนียมกันกร่อน 2. การทาสีบริเวณโรเตอร์ซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อลดอิทธิพลของ galvanic corrosion ระหว่างโรเตอร์และตัวใบจักร 3. การกำหนดความเร็วใช้งานสูงสุดที่ 10 นอต เพื่อไม่ให้ความเค้นที่กระทำต่อใบจักรสูงเกินเกณฑ์

2. *วิธีการขึ้นรูปใบจักร VSP ด้วยวิธีการหล่อแล้วกลึงขึ้นรูป* โครงการวิจัยฯ ได้ศึกษาส่วนผสมทางเคมีของแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ตามมาตรฐาน WL 2.0957 ของเยอรมัน และ C95700 ของสหรัฐ ฯ (Cu8-Al8-Mn-1.5Ni2-Fe) พบว่ามีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับส่วนผสมทางเคมีของใบจักร VSP ซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของใบจักรที่ได้รับความเสียหายมาวิเคราะห์ส่วนผสมโดยใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์โลหะหลายธาตุ (Spectrometer) ดังนั้นคุณสมบัติทางกล ส่วนผสมทางเคมี และคุณสมบัติอื่น ๆ ของใบจักร VSP จึงสามารถอ้างอิงมาตรฐาน WL 2.0957 หรือ C95700 ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ตามมาตรฐาน WL 2.0957 ของเยอรมัน เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับงานหล่อ ดังนั้นใบจักร VSP โครงการวิจัยฯ จึงได้มีความเห็นว่าการผลิตใบจักร VSP นั้นทำการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ

การดำเนินการหล่อใบจักร มีดังนี้

1. การสร้างแบบหล่อโดยนำใบจักร VSP ของกรมอู่ทหารเรือมาสแกนเพื่อสร้างแบบ 2. นำแบบหล่อมาสร้างแบบหล่อทราย 3. ตรวจสอบส่วนผสมของน้ำโลหะให้เป็นไปตามส่วนผสมของใบจักร VSP แล้วเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบ 4. การอบใบจักรที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 2 ชม. แล้วให้เย็นตัวในน้ำ เพื่อปรับโครงสร้างเพิ่มความเหนียวและการยืดตัว 5. การกลึงขึ้นรูปใบจักร ซึ่งจะใช้เครื่องกลึง กลึงด้ามใบจักร ส่วนตัวใบจักรใช้เครื่อง CNC กัดให้ตัวใบจักรมีมิติที่ถูกต้องตามแบบของใบจักร VSP 6. การตรวจสอบมิติโดยใช้เครื่อง CMM เพื่อตรวจสอบว่าใบจักรหลังจากการกลึงขึ้นรูปมีขนาดเป็นไปตามแบบหรือไม่ ผลการดำเนินการสามารถหล่อใบจักรซึ่งมีมิติเป็นไปตามแบบของใบจักร VSP

3. *นวัตกรรมเครื่องทดสอบ corrosion fatigue* ใบจักร VSP ได้รับความเสียหายจาก corrosion fatigue ดังนั้นนอกจากการทดสอบสมบัติทางกล เช่น ความเค้นแรงดึง ความแข็ง ซึ่งสามารถทดสอบโดยใช้เครื่องมือซึ่งมีใช้งานทั่วไป แต่การทดสอบ corrosion fatigue จำเป็นต้องออกแบบเครื่องทดสอบเพื่อใช้งานเองเนื่องจากยังไม่มีผู้ผลิต โครงการวิจัยฯ จึงออกแบบเครื่องทดสอบ corrosion fatigue โดยชิ้นงานทดสอบจะถูกกดด้วยสปริงและหมุนในชุดอุปกรณ์ซึ่งบรรจุน้ำทะเล เป็นการจำลองสภาวะการใช้งานเสมือนจริง การวัดผลจะนับจำนวนรอบจนชิ้นงานขาด

ผลการทดลองพบว่าโลหะผสมแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ซึ่งหล่อโดยโครงการวิจัยสามารถใช้งานได้เฉลี่ย 2.5 ล้านรอบ ในขณะใบจักร VSP ซึ่งจัดซื้อจากต่างประเทศเมื่อนำมาทดสอบแล้วว่าสามารถใช้งานได้ประมาณ 1 ล้านรอบ

4. *ผลการวิเคราะห์ความเค้น* โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลองกับใบจักรแบบย่อส่วน พบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างด้ามใบจักรกับตัวใบ โดยเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ในทุกรอบการหมุนของพวงใบจักร เนื่องจากใบจักรต้องเปลี่ยนมุมปะทะอย่างรวดเร็ว โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วเต็มที่ 15 นอต และใช้รอบใบจักรสูงสุด 115 รอบต่อนาที ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้อาจมากถึง 400 MPa แต่ความเค้นสูงสุดจะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยลดลงมากกว่าครึ่งเหลือเพียง 160 MPa หากลดความเร็วลงจาก 15 นอต เป็น 10 นอต ดังนั้นการใช้ความเร็วในช่วงที่ต่ำกว่า 15 นอต จะทำให้ใบจักรมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

5. *แบบใบจักรซึ่งปรับปรุงความแข็งแรง* โครงการวิจัยฯ ได้ปรับปรุงแบบใบจักร VSP โดยเติมเนื้อวัสดุบริเวณรอยต่อด้ามใบจักรเพียงเล็กน้อย จากการจำลองในคอมพิวเตอร์พบว่า ความเค้นสูงสุดลดลงประมาณ 16 % ในขณะที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเพียง 0.2 % หรือประมาณ 0.44 กิโลกรัมเท่านั้น ในขณะที่สัมประสิทธิ์แรงยกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มากนัก ดังนั้นแบบที่ผ่านการปรับปรุงความแข็งแรง จึงน่าจะนำไปใช้ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเรือโดยรวม

6. *แนวทางการเชื่อมซ่อมใบจักร VSP* โครงการวิจัยฯ ทำการเชื่อมซ่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมมิกและใช้ลวดเชื่อม AMPCO-TRODE 40 (AWS 5.7 Class CuMnAl) การดำเนินการเชื่อมโดยเจ้าหน้าที่ของกรมอู่ทหารเรือ จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานวิจัยพบว่ามีโครงสร้างทางจุลภาคใกล้เคียงกับงานเชื่อมซ่อมจากต่างประเทศ

7. *ผลการทดลองตีขึ้นรูปชิ้นงาน*ทดสอบของวัสดุแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ด้วยการตีแบบ Cogging ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ตามหลักการของ Severe Plastic Deformation (SPD) โดยภายหลังจากการทุบขึ้นรูป ขนาดเกรนของ MAB มีขนาดเล็กกว่าขนาดเกรนของชิ้นงานหล่อ ทำให้มีค่า Tensile Strength, Yield Strength และ Hardness ที่สูงกว่า แต่ค่า % Elongation ลดลง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของวัสดุแมงกานิสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ให้ดีขึ้นด้วยหลักการของ SPD โดยภายหลังการทุบขึ้นรูปอาจจะต้องนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อเพิ่มความเหนียวและคุณสมบัติทางแม่เหล็กก่อนที่จะนำไปกัดเป็นใบจักรหรือชิ้นส่วนทางวิศวกรรมอื่น ๆ ต่อไป

สรุป

เรือหลวงลาดหญ้าและเรือหลวงท่าดินแดงเป็นเรือล่าทำลายทุ่นระเบิดที่มีศักยภาพสูงของกองทัพเรือ การที่ใบจักรแบบ VSP หักชำรุด และทางกรมอู่ทหารเรือหรือเอกชนในประเทศไม่สามารถผลิตทดแทนหรือเชื่อมซ่อมใบจักรเองได้ ทำให้ศักยภาพและความพร้อมในการป้องกันประเทศลดลง หรือหากใบจักรแบบ VSP เกิดหักในภาวะสงครามจะยิ่งส่งผลเสียกับประเทศชาติอย่างใหญ่หลวง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาให้กองทัพเรือพึ่งพาตนเองได้และมีความพร้อมในการป้องกันประเทศ โดยใช้นักวิจัยของกรมอู่ทหารเรือและนักวิจัยของมหาวิทยาลัยร่วมกันวิจัยเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งนักวิจัยสามารถวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายตลอดจนแนวทางการป้องกันความเสียหายของใบจักร VSP และวิเคราะห์หาความเค้นที่กระทำต่อใบจักรโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างด้ามใบจักรกับตัวใบ และควรใช้ความเร็วไม่เกิน 10 นอต จะทำให้ใบจักรมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น กรณีใบจักรที่มีปัญหาการกัดกร่อนนักวิจัยได้ศึกษาแนวทางการเชื่อมซ่อมใบจักร VSP ซึ่งสามารถนำไปใช้เชื่อมซ่อมใบจักรทำให้ใบจักรมีความแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้นักวิจัยได้ทดลองผลิตใบจักร VSP โดยวิธีการหล่อแล้วกลึงขึ้นรูปให้ได้มิติตามแบบ ซึ่งสามารถสร้างใบจักรต้นแบบได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

1. Robert J.F. and Thomas E.C, Review of Dealloying of Cast Aluminum Bronze and Nickel-Aluminum Bronze Alloys in Sea Water Service, Material Performance, Vol. 34-30 ,1982 ,431.

2. Carliton J.S., Marine Propellers & Propulsion, Butterworth-Heinemann Ltd, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 1994.

3. Ajeel S.A., Ibraheim A.N., Salam A., and Fadhil A., Study on Improvement of Casting Conditions for Some Aluminum Bronze Alloys, Eng& Technology, Vol. 727-711 ,2007 ,25.

4. Copper Development Association, Equilibrium Diagrams of Copper Alloys, Introductory notes for the use of students / Copper Development Association, London:, 1965.

5. Wharton, J.A. and Stokes, K.R., The Influence of Nickel-Aluminum Bronze Microstructure and Crevice Solution on the Initiation of Crevice Corrosion, ElectrochemicaActa, Vol. 2473-2463 ,2008 ,53.

6. E.A. Culpan and G. Rose, Corrosion Behaviour of Cast Nickel Aluminium Bronze in Sea Water, Br. Corros. J., Vol. 14, No. 3, Pages 166-160

แบตเตอรี่เรือดำน้ำ
และระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ

นาวาโท ยุทธภูมิ ศรีสุข
กองออกแบบไฟฟ้า กรมแผนการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในเรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานหลักของเรือดำน้ำ ซึ่งเรือดำน้ำจะใช้แบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อหมุนใบจักร อีกทั้งแบตเตอรี่ยังเป็นแหล่งพลังงานของระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ในเรือ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่เป็นรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) และจะถูกแปลงไปเป็นรูปแบบกระแสตรงที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยลง หรือ ถูกแปลงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) เพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเรือดำน้ำ

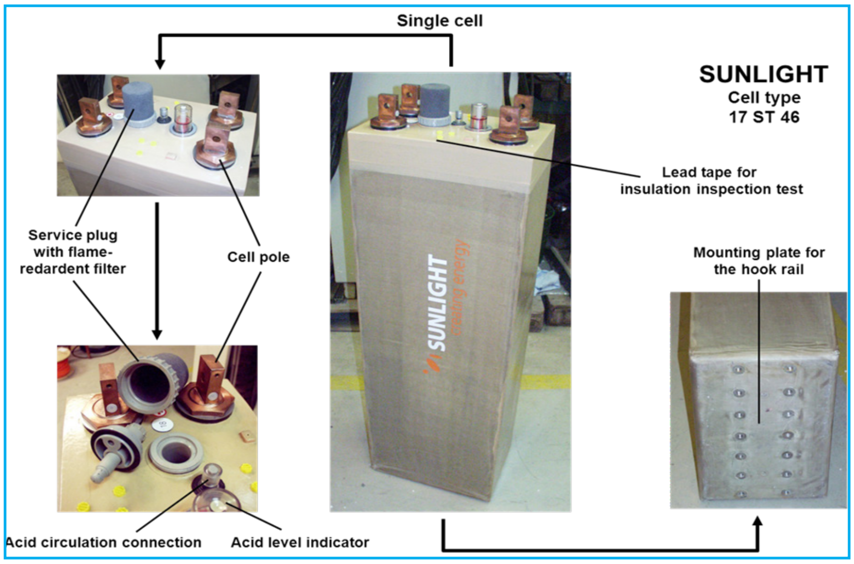
การทำงานของแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำนั้นแบตเตอรี่จำนวนหลาย ๆ เซลล์ถูกบรรจุอยู่ในห้องแบตเตอรี่ที่มีพื้นที่อันจำกัด มีพื้นที่สำหรับผู้ปฏิบัติการเพื่อเข้าไปทำการบำรุงดูแลรักษาไม่มาก ประกอบด้วยงานบางอย่างในห้องแบตเตอรี่หากต้องทำโดยไม่มีระบบอัตโนมัติมาช่วยเหลือในการทำงานจะต้องเสียเวลามาก มีความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาด หรือไม่สามารถกระทำได้เลยเช่นการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในทุกเซลล์ของแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่

บทความนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะเฉพาะ และส่วนประกอบต่าง ๆ ของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ การใช้งานและการชาร์จแบตเตอรี่เรือดำน้ำเมื่อเรืออยู่ที่ฐานทัพและในทะเล รวมทั้งคุณลักษณะเฉพาะ ความสำคัญการทำงานและส่วนประกอบของระบบช่วยต่าง ๆ ที่จำเป็นในการทำงานของแบตเตอรี่

ภาพเรือดำน้ำ ที่มา: http://en.trend.az/iran/politics/2383914.html

แบตเตอรี่เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในเรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานหลักของเรือดำน้ำ ซึ่งเรือดำน้ำจะใช้แบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อหมุนใบจักร อีกทั้งแบตเตอรี่ยังเป็นแหล่งพลังงานของระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ในเรือ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่เป็นรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) และมีค่าความต่างศักย์ในช่วง 450 ถึง 900 V จะถูกแปลงไปเป็นรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยลง หรือ ถูกแปลงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) เพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเรือดำน้ำ แบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือดำน้ำเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid Battery) ต้องมีการเติมน้ำกลั่นเข้าไปในแบตเตอรี่เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานในรถยนต์ ตัวอย่างของแบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือดำน้ำแสดงอยู่ในรูปที่ 1

ส่วนประกอบที่เห็นในรูปที่ 1 จะเห็นขั้วบวก และ ขั้วลบของแบตเตอรี่ซึ่งจะประกอบไปด้วยแกน 4 แกน (Cell Poles) โดยขั้วบวกจะมี 2 แกน และ ขั้วลบจะมี 2 แกน ทางด้านบนยังมีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำกลั่น (Acid Level Indicator) ช่องเติมน้ำกลั่นและกรองอากาศชนิดป้องกันการติดไฟ (Service Plug with Flame Retardant Filter) ส่วนทางด้านล่างจะมีแผ่นรองเพื่อติดตั้งบนรางในห้องแบตเตอรี่



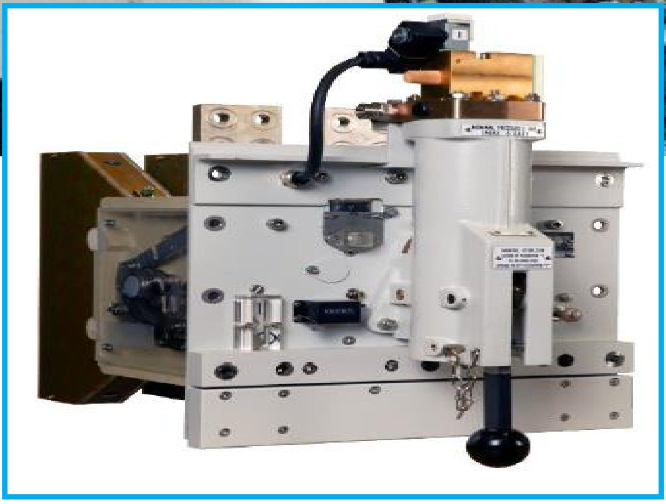
1 แบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือดำน้ำ

แบตเตอรี่ในเรือดำน้ำนั้นบรรจุอยู่ในห้องแบตเตอรี่ ในห้องแบตเตอรี่ประกอบไปด้วยแบตเตอรี่จำนวนมาก ซึ่งแต่ละหน่วยเรียกว่าแบตเตอรี่เซลล์ (Battery Cell) ในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงห้องเก็บแบตเตอรี่และแบตเตอรี่เซลล์ในห้องแบตเตอรี่ เซลล์จำนวนหนึ่งจะถูกนำมาต่อกันในลักษณะอนุกรมเพื่อประกอบเป็นแบตเตอรี่ย่อย (Partial Battery) ซึ่งเรือแต่ละลำจะมีจำนวนแบตเตอรี่ย่อยแตกต่างกันไป

โดยค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์จะอยู่ที่ 2.4 V ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ย่อยสามารถนำมาต่ออนุกรม หรือต่อแบบขนานในกรณีที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูง แบตเตอรี่ทุกเซลล์มีเซ็นเซอร์ต่ออยู่กับเซลล์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา และจะมีบางเซลล์ซึ่งกระจายอยู่ในห้องแบตเตอรี่ เซลล์เหล่านี้จะมีเซ็นเซอร์เพิ่มเติมเพื่อวัดอุณหภูมิ (Pilot Cells) โดยอุณหภูมิที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 0 °C ถึง 45 °C

2 ห้องเก็บแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำก่อนบรรจุแบตเตอรี่

3 แบตเตอรี่ในห้องเก็บแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำ



4 แบตเตอรี่สวิทช์

5 ตู้สวิทช์ของแบตเตอรี่

การเชื่อมต่อพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังระบบต่าง ๆ ในเรือ (Load) จะเชื่อมต่อโดยสวิทช์ (Switch) และ ตู้สวิทช์ (Switchboard) ดังที่แสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5

สวิทช์นอกจากจะทำหน้าที่ตัดต่อพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังระบบต่าง ๆ ในเรือแล้ว ยังทำหน้าที่ป้องกันในกรณีที่มีการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรไม่ให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรไปทำความเสียหายกับแบตเตอรี่ ตู้สวิทช์ของแบตเตอรี่ยังมีหน้าที่ในการต่อเชื่อมกระแสไฟฟ้าจากแหล่งอื่น ๆ มายังแบตเตอรี่ เช่น จากบนบก (Shore Connection) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Charging Generator) ในกรณีที่ต้องการอัดกระแสไฟฟ้ากลับเข้าไปยังแบตเตอรี่

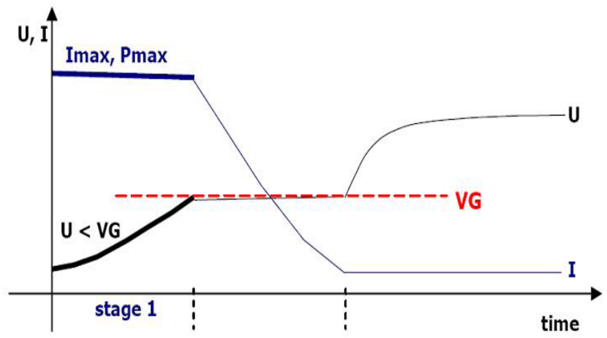
การอัดกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่ (Battery Charging) เรียกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่ใช้ทั่วไป เช่น ในรถยนต์หรือในโทรศัพท์มือถือ เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้พลังงานจนพลังงานที่มีอยู่หมดลงต้องมีการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อการใช้งานในครั้งต่อไป สำหรับแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำสามารถทำการชาร์จได้จากสองแหล่ง คือ

1. เมื่ออยู่ที่ท่าเรือสามารถใช้ไฟฟ้าจากบนบกต่อเข้าไปชาร์จแบตเตอรี่ในเรือได้ ทั้งนี้ที่ท่าเรือต้องมีระบบไฟฟ้ากระแสตรงรองรับในการชาร์จแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำ

2. เมื่ออยู่ระหว่างการออกปฏิบัติการในทะเล ในเรือดำน้ำจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ การชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นเรือดำน้ำจะต้องอยู่บนผิวน้ำ (Surface) หรือดำอยู่ในความลึกที่สามารถใช้กล้อง Periscope (Periscope Depth) เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นจึงต้องใช้อากาศจากภายนอก โดยดูดอากาศจากบนผิวน้ำเมื่อเรืออยู่บนผิวน้ำ หรือดูดอากาศจากบนผิวน้ำผ่านท่อ Snorkel (Snorkel Mast) เมื่อเรือดำอยู่ในความลึกที่สามารถใช้กล้อง Periscope ตัวอย่างของท่อ Snorkel แสดงอยู่ในรูปที่ 6

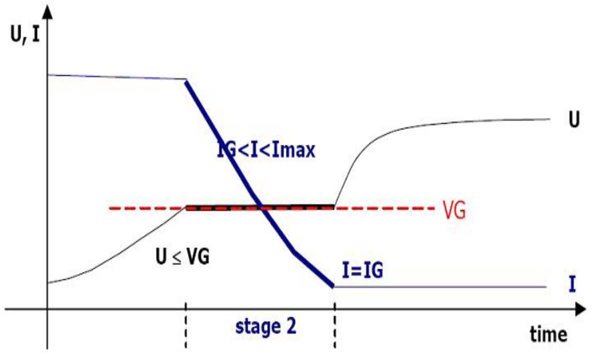
6 ท่อ Snorkel (Snorkel Mast)

การชาร์จแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ การชาร์จในระดับที่ 1 (Stage 1) จะชาร์จที่กระแสไฟฟ้า (I) จะมีค่าสูงและคงที่ในขั้นตอนนี้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนใกล้ถึงจุดที่เรียกว่า Gassing Voltage ถ้าค่าความต่างศักย์เกินค่า Gassing Voltage จะเกิดก๊าซจากการชาร์จแบตเตอรี่ ณ จุดนี้การชาร์จแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไปเป็นการชาร์จในระดับ 2 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 1 แสดงอยู่ในรูปที่ 7



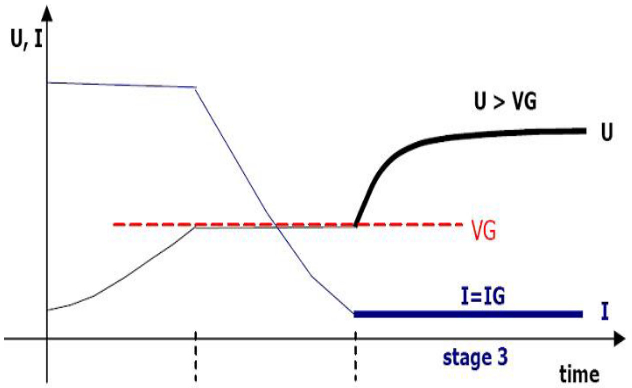
7 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 1

การชาร์จในระดับที่ 2 (Stage 2) จะชาร์จที่ค่าความต่างศักย์คงที่ซึ่งมีค่าน้อยกว่า Gassing Voltage กระแสไฟฟ้าในแต่ละเซลล์จะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่เรียกว่า Gassing Current ณ จุดนี้การชาร์จแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไปเป็นการชาร์จในระดับ 3 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 2 แสดงอยู่ในรูปที่ 8



8 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 2

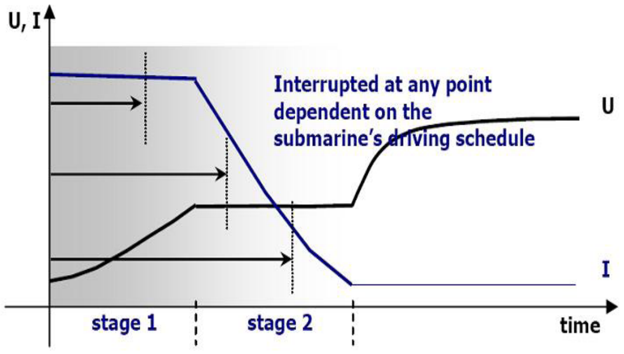
การชาร์จในระดับที่ 3 (Stage 3) สามารถทำได้เมื่อเรืออยู่ที่ท่าเรือเท่านั้น การชาร์จในระดับนี้ ค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น และค่อย ๆ คงที่เมื่อชาร์จใกล้เต็ม ในขณะที่กระแสจะอยู่คงที่ ณ จุด Gassing Current ในระดับนี้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเกินค่าความต่างศักย์ Gassing Voltage ดังนั้นจะมีการเกิดก๊าซจากการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับนี้ การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3 ให้เต็มจะต้องใช้เวลา 10-12 ชั่วโมง การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3 แสดงอยู่ในรูปที่ 9



9 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3

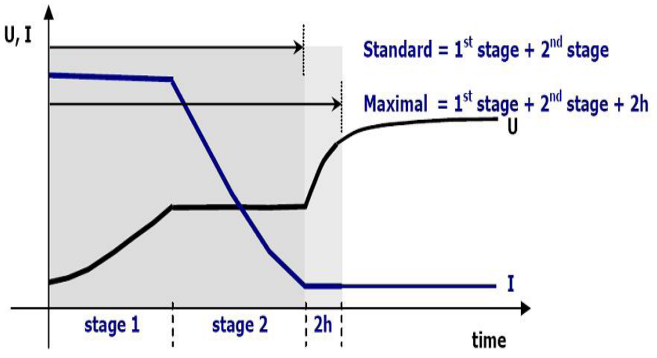
ค่า Gassing Voltage จะมีค่าแตกต่างไปตามอุณหภูมิของน้ำกรดในแบตเตอรี่ นอกจากระดับในการชาร์จแบตเตอรี่แล้ว การชาร์จแบตเตอรี่ยังมีวิธีการชาร์จที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานการณ์และช่วงเวลาที่เอื้ออำนวย เช่น ระหว่างการปฏิบัติการเวลาที่สามารถขึ้นมาอยู่ในความลึกที่สามารถใช้ท่อ Snorkel ได้ หรือ เวลาที่เรืออยู่บนผิวน้ำ วิธีการชาร์จสามารถแบ่งเป็น 4 วิธี คือ

1. การชาร์จพลังงานเพียงบางส่วน (Partial Charge) เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่กระทำบ่อยมากที่สุดในระหว่างการปฏิบัติการ การชาร์จแบตเตอรี่วิธีนี้จะเริ่มจากการชาร์จในระดับที่ 1 ซึ่งสามารถหยุดได้ ณ เวลาใด ๆ ขึ้นอยู่กับเวลาที่อำนวยในการปฏิบัติการของเรือดำน้ำ เช่น หากเวลาที่เรือสามารถขึ้นมาอยู่ที่ความลึกที่สามารถใช้ท่อ Snorkel ได้มีน้อย ก็ใช้เวลาอันจำกัดที่มีในการชาร์จพลังงานเพียงบางส่วน และขึ้นอยู่กับสภาวะของแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ หากพลังงานถูกใช้ไปมากก็ต้องใช้เวลาในการชาร์จนาน หากเวลามีเพียงพอควรจะชาร์จแบตเตอรี่จนถึงช่วงกลางของการชาร์จในระดับที่ 2 การชาร์จพลังงานเพียงบางส่วนแสดงอยู่ในรูปที่ 10



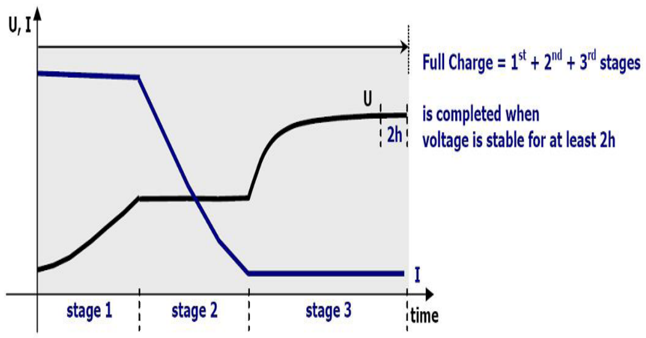
10 การชาร์จพลังงานเพียงบางส่วน (Partial Charge)

2. การชาร์จพลังงานในระดับปานกลาง (Intermediate Charge) เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ทำให้พลังงานในแบตเตอรี่สามารถกลับคืนมาเกือบถึง 100 % การชาร์จแบตเตอรี่ในวิธีนี้จะทำได้ใน 2 ลักษณะคือ สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่จนถึงช่วงปลายของการชาร์จในระดับที่ 2 ซึ่งเรียกว่าการชาร์จในลักษณะมาตรฐาน (Standard) หรือสามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ต่อจากช่วงปลายของการชาร์จในระดับที่ 2 ไปอีก 2 ชั่วโมง เรียกว่าการชาร์จในลักษณะสูงสุด (Maximal) ซึ่งจะกระทำการชาร์จในลักษณะสูงสุดนี้ทุก 2 สัปดาห์ การชาร์จพลังงานในระดับปานกลางแสดงอยู่ในรูปที่11



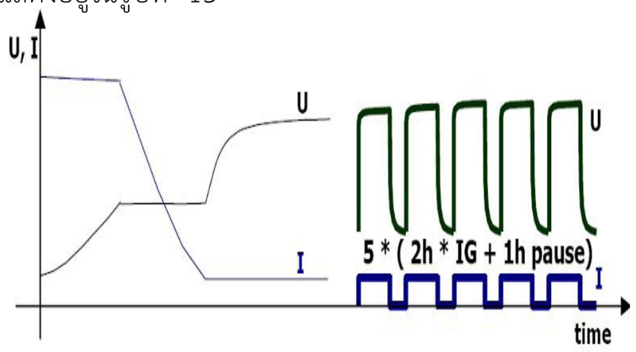
11 การชาร์จพลังงานในระดับปานกลาง (Intermediate Charge)

3. การชาร์จพลังงานในระดับเต็ม (Full Charge) เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ทำให้พลังงานในแบตเตอรี่สามารถกลับคืนมาจนเต็มความจุของแบตเตอรี่ การชาร์จพลังงานในระดับเต็มจะทำการชาร์จแบตเตอรี่จนถึงการชาร์จในระดับที่ 3 เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนได้รับพลังงานใกล้เต็มความจุของแบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์ในแต่ละเซลล์จะเริ่มมีค่าคงที่ การสิ้นสุดการชาร์จพลังงานในระดับเต็มจะดูจากจุดสำคัญคือ หากในระยะเวลา 2 ชั่วโมงของช่วงปลายการชาร์จในระดับที่ 3 เมื่อค่าความต่างศักย์ของแต่ละเซลล์มีค่าคงที่ สามารถสิ้นสุดการชาร์จพลังงานในระดับเต็มได้ ค่าความต่างศักย์ในการชาร์จแบตเตอรี่จะลดลงตามอุณหภูมิ คือ จะลดลง 5 mV/ °C/เซลล์ การชาร์จพลังงานในระดับเต็มจะใช้เวลา 10-18 ชั่วโมง การชาร์จพลังงานในระดับเต็มแสดงอยู่ในรูปที่ 12



12 การชาร์จพลังงานในระดับเต็ม (Full Charge)

4. การชาร์จพลังงานให้แต่ละเซลล์มีพลังงานใกล้เคียงกัน (Equalizing Charge) เป็นการชาร์จแบตเตอรี่ให้แต่ละเซลล์มีระดับพลังงานที่ใกล้เคียงกัน การชาร์จแบตเตอรี่โดยวิธีนี้จะเริ่มขึ้น 1 ชั่วโมงหลังการชาร์จในระดับที่ 3 โดยจะมีวงรอบการชาร์จดังนี้ คือจะทำการชาร์จที่ระดับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดก๊าซ (Gassing Current) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงและหยุดพัก 1 ชั่วโมง คิดเป็น 1 วงรอบ จะทำการชาร์จวิธีนี้ทั้งหมด 5 วงรอบ เพื่อให้พลังงานในแต่ละเซลล์มีระดับพลังงานใกล้เคียงกัน การชาร์จพลังงานให้แต่ละเซลล์มีพลังงานใกล้เคียงกัน แสดงอยู่ในรูปที่ 13



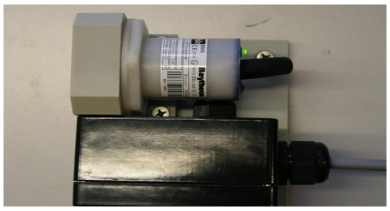
13 การชาร์จพลังงานให้แต่ละเซลล์มีพลังงานใกล้เคียงกัน (Equalizing Charge)

ระบบช่วยการทำงานของแบตเตอรี่

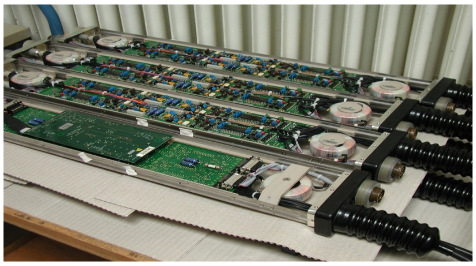
การทำงานของแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำนั้นแบตเตอรี่จำนวนหลาย ๆ เซลล์ถูกบรรจุอยู่ในห้องแบตเตอรี่ที่มีพื้นที่อันจำกัด มีพื้นที่สำหรับผู้ปฏิบัติการเพื่อเข้าไปทำการบำรุงดูแลรักษาไม่มาก ประกอบด้วยงานบางอย่างในห้องแบตเตอรี่หากต้องทำโดยไม่มีระบบอัตโนมัติมาช่วยเหลือในการทำงานจะต้องเสียเวลามาก มีความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาด หรือไม่สามารถกระทำได้เลย เช่น การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในทุกเซลล์ของแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่ประกอบด้วย

1. ระบบตรวจการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery Monitoring System) ดังที่กล่าวข้างต้นเซ็นเซอร์จะถูกติดตั้งเพื่อวัดค่าความต่างศักย์และบางเซลล์จะมีเซ็นเซอร์เพื่อวัดค่าอุณหภูมิ หากค่าความต่างศักย์น้อยกว่าค่าที่ใช้งานได้ หรือค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติระบบตรวจการทำงานของแบตเตอรี่ก็จะส่งสัญญาณเตือน (Warning and Alarm) สำหรับเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้า จะทำการวัดกระแสของแบตเตอรี่ย่อยแต่ละกลุ่มเซลล์ เซ็นเซอร์และตัวรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Data Transmit and Receiver) จะถูกติดตั้งอยู่ในห้องแบตเตอรี่ เซ็นเซอร์ที่ใช้เพื่อวัดค่าความต่างศักย์จะส่งสัญญาณผ่านสายสัญญาณ เซ็นเซอร์ที่ใช้เพื่อวัดอุณหภูมิจะส่งสัญญาณแบบไร้สาย (Wireless) เซ็นเซอร์และตัวรับสัญญาณจะรับสัญญาณผ่านทางการแพร่คลื่นในอากาศจากเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์ที่ใช้เพื่อวัดอุณหภูมิ ตัวรับสัญญาณและเซ็นเซอร์วัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าแสดงอยู่ในรูปที่ 14 15 16 17

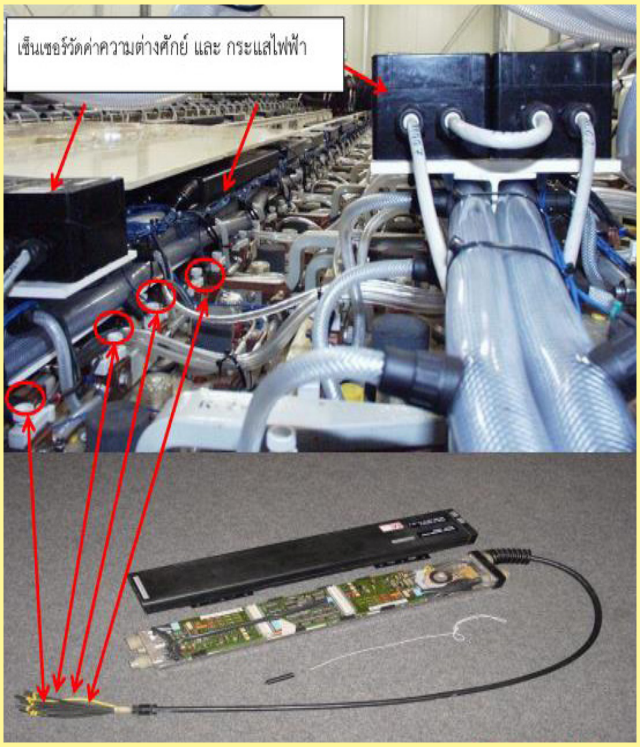
14 เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ



15 ตัวรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ



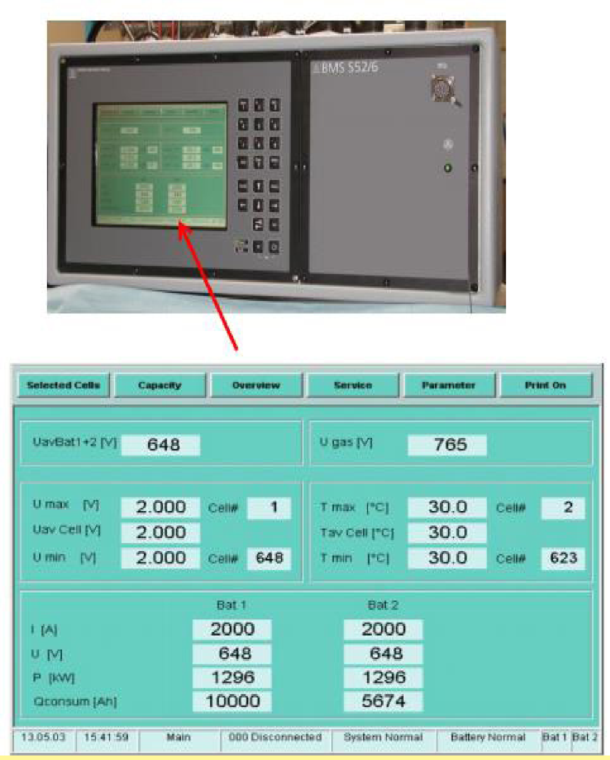
16 เซ็นเซอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า



สายต่อจากขั้วแบตเตอรี่ (ในวงกลมสีแดง) ไปยังเซ็นเซอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า 17

นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละแบตเตอรี่ย่อยเช่นกัน ถ้ากระแสไฟฟ้าของแต่ละแบตเตอรี่ย่อยไม่อยู่ในช่วงของค่าปกติ เช่น ระบบตรวจการทำงานของแบตเตอรี่ก็จะส่งสัญญาณเตือนให้ทราบเช่นกัน โดยค่าที่วัดได้และสัญญาณเตือนจะถูกส่งไปยังจอแสดงผล (Monitor)

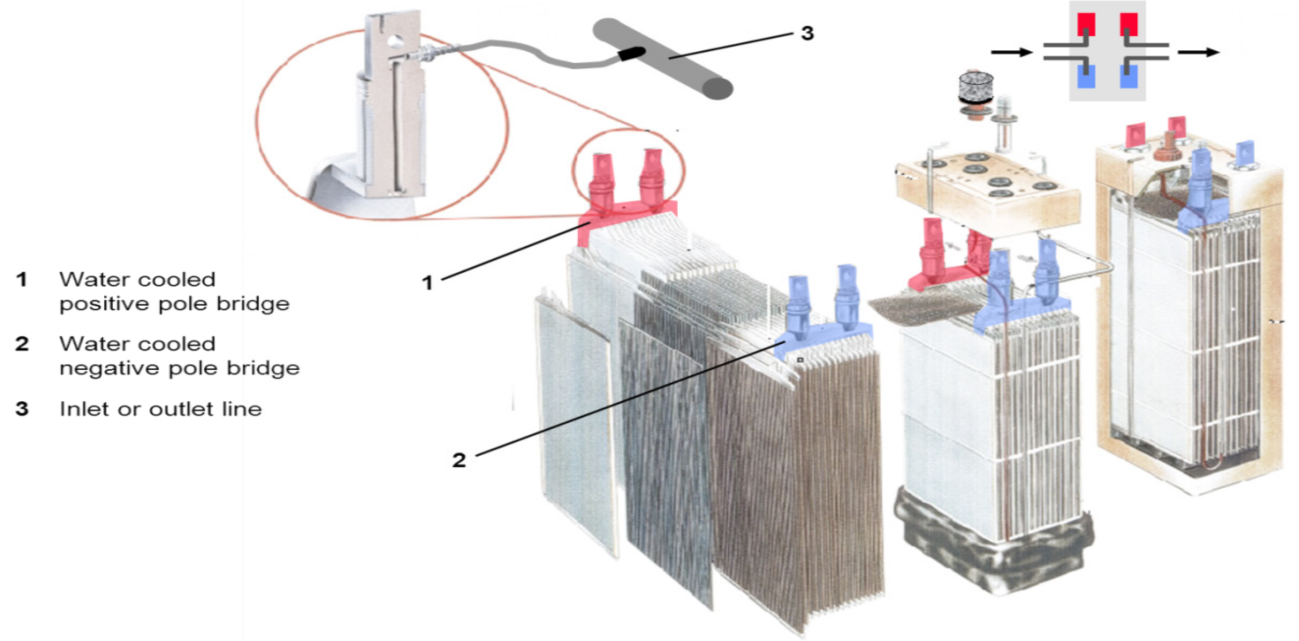
ซึ่งนอกจากจะแสดงผลของค่าที่วัดได้และสัญญาณเตือนต่าง ๆ แล้ว บนจอแสดงผลยังสามารถเลือกให้แสดงผลอื่น ๆ เช่น จำนวนพลังงานที่ถูกใช้ไปในแบตเตอรี่ เวลาที่เหลืออยู่ที่สามารถใช้แบตเตอรี่ได้ในอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน ณ เวลาปัจจุบัน เวลาที่ต้องใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม รูปของจอแสดงผลและตัวอย่างของผลบนจอแสดงอยู่ในรูปที่ 18



18 รูปของจอแสดงผลและตัวอย่างของผลบนจอ

2. ระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่ ระบบน้ำกลั่น และระบบวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น (Battery Cooling System Distillated Water and Conductivity Measuring System)

เมื่อมีการชาร์จหรือมีการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จะเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิในแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น ต้องมีการระบายความร้อน และในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มแบตเตอรี่ทุกเซลล์จะต้องมีอุณหภูมิที่เท่ากัน ซึ่งโดยปกติเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่บริเวณมุมห้องแบตเตอรี่ และเซลล์แถวริมรอบห้องแบตเตอรี่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ในบริเวณกลางห้อง หากมีความแตกต่างในอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่มากจะไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่จนมีพลังงานเต็มทุกเซลล์ได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงเกินช่วงที่เป็นอุณหภูมิใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งไม่ควรเกิน 30°C และเพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จนเต็มประสิทธิภาพ ระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่จึงถูกนำมาใช้ ซึ่งระบบดังกล่าวจะใช้น้ำกลั่นเพื่อดับความร้อนโดยจะมีท่อต่อน้ำกลั่นเข้าทางขั้วของแบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำจะมีขั้วบวกสองขั้วและขั้วลบสองขั้วอยู่บนเซลล์แบตเตอรี่ โดยขั้วบวกทั้งสองจะเชื่อมต่อกัน และ ขั้วลบทั้งสองก็เชื่อมต่อกันเช่นกัน ในแกนกลางของขั้วจะมีท่อเดินเข้าไปในเซลล์ของแบตเตอรี่ เมื่อน้ำกลั่นได้เข้าไปลดอุณหภูมิในเซลล์แล้วก็จะออกมาทางอีกขั้วหนึ่ง ตัวอย่างของการไหลของน้ำกลั่นเข้าขั้วของเซลล์แบตเตอรี่แสดงในรูปที่ 19



19 ตัวอย่างของการไหลของน้ำกลั่นเข้าขั้วของเซลล์แบตเตอรี่

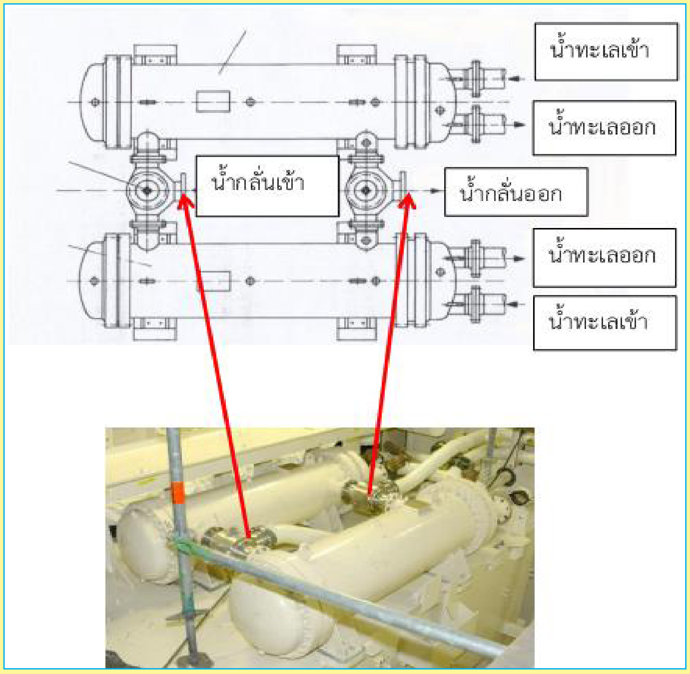
ทุกเซลล์ของแบตเตอรี่จะมีระบบดับความร้อนของแบตเตอรี่ต่ออยู่เพื่อให้น้ำกลั่นสามารถเข้าไปในแต่ละเซลล์ ระบบจะใช้อากาศอัดที่มีความดัน 3 bar เพื่อให้น้ำกลั่นไหลวนเข้าไปในเซลล์ เมื่อน้ำกลั่นรับความร้อนภายในเซลล์แล้วน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกนำไปลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำทะเล เนื่องจากระบบดับความร้อนของแบตเตอรี่ต้องมีการสัมผัสของน้ำกลั่นกับขั้วของแบตเตอรี่จึงต้องมีการวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น ค่าปกติจะอยู่ที่ระดับไม่เกิน 10 μS ถ้ามีค่าสูงเกินนี้น้ำกลั่นจะถูกนำไปลดค่าความนำไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Ion Exchanger ในรูปที่ 20 ก่อนจะนำกลับมาใช้ในระบบดับความร้อนของแบตเตอรี่ต่อไป

20 Ion Exchanger

เมื่อระดับน้ำกรดในเซลล์แบตเตอรี่มีระดับต่ำกว่าค่าปกติโดยแต่ละเซลล์จะมีช่องแสดงระดับและช่องเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่ รูปที่ 21 แสดงตัวอย่างของช่องสำหรับแสดงระดับและเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่ นอกจากนี้น้ำกลั่นยังถูกนำมาใช้ เพื่อทำความสะอาดแบตเตอรี่ในห้องแบตเตอรี่อีกด้วย

21 ช่องสำหรับแสดงระดับและเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่

หลังจากน้ำกลั่นดูดซับความร้อนจากภายในแบตเตอรี่แล้ว หากอุณหภูมิของน้ำกลั่นมีค่าเกิน 33 °C น้ำกลั่นจะถูกนำไปดับความร้อนโดยน้ำทะเลอีกทีหนึ่ง ก่อนนำวนกลับไปดูดซับความร้อนในแบตเตอรี่ โดยน้ำกลั่นจะถูกนำไปผ่านถังดับความร้อนแบตเตอรี่ (Battery Cooler) ในรูปที่ 22 เพื่อดับความร้อนโดยน้ำทะเล น้ำทะเลจะถูกปั๊มสูบเข้ามาในถังดับความร้อนของแบตเตอรี่ เพื่อดูดซับความร้อนจากน้ำกลั่นและถูกสูบออกไปยังภายนอก

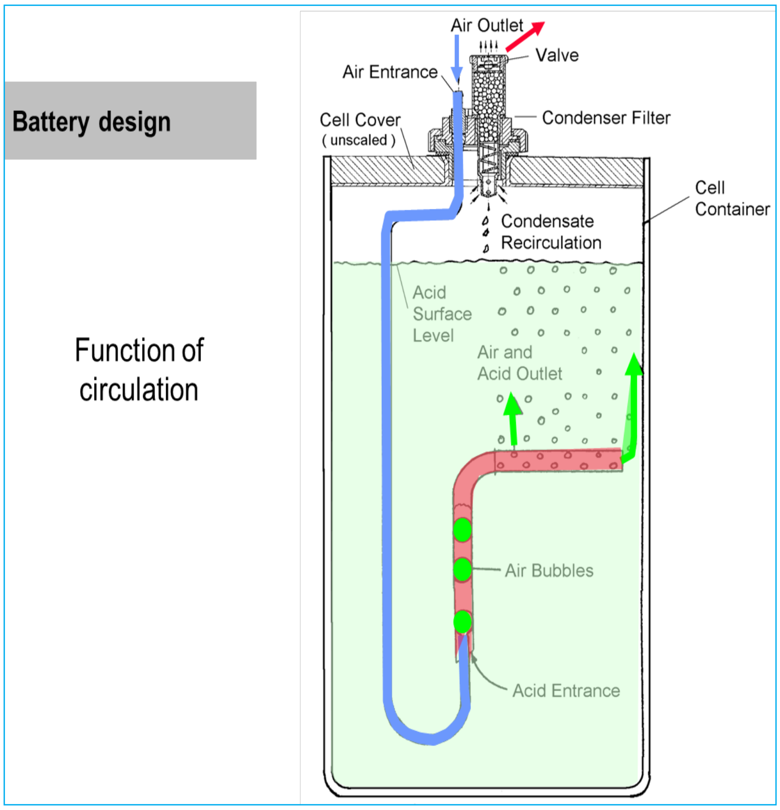


22 ถังดับความร้อนแบตเตอรี่ (Battery Cooler)

3. ระบบการไหลวนของน้ำกรดในเซลล์แบตเตอรี่ (Acid Circulation System)

ถ้าน้ำกรดในเซลล์แบตเตอรี่มีการตกตะกอนประสิทธิภาพในการคายพลังงานของเซลล์แบตเตอรี่จะลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนของน้ำกรด โดยแต่ละเซลล์จะมีท่อต่ออากาศอัด ท่อนี้จะต่อลงไปยังด้านล่างของเซลล์แบตเตอรี่ อากาศอัดจะลงไปคนให้น้ำกรดเกิดการไหลวนโดยฟองอากาศที่ออกจากท่อจะลอยขึ้นบนผิวน้ำกรดและถูกระบายออกจากเซลล์แบตเตอรี่มายังอากาศในตัวเรือ แผนภาพแสดงการไหลวนของน้ำกรดแสดงอยู่ในรูปที่ 23

อากาศอัดนี้จะถูกส่งมาจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งใช้เฉพาะสำหรับระบบการไหลวนของน้ำกรด และจะมีความดันอากาศในท่ออยู่ที่ 1.3 bar โดยแต่ละเซลล์จะใช้อากาศอัด 45-105 ลิตรต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับสถานภาพว่าเซลล์แบตเตอรี่มีการใช้งานอยู่อย่างไร หรืออยู่ในช่วงการชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อฟองอากาศลอยออกจากแบตเตอรี่ ก็จะกลับเข้ามารวมกับอากาศในตัวเรือต่อไป

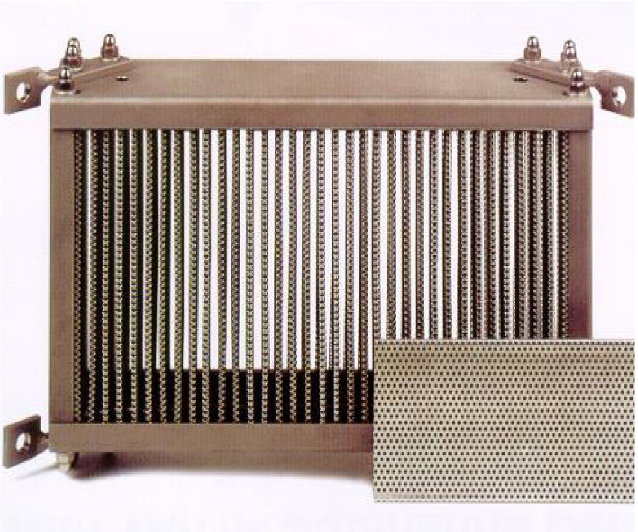


23 แผนภาพแสดงการไหลวนของน้ำกรด

4. ระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจน (H_2 Elimination System)

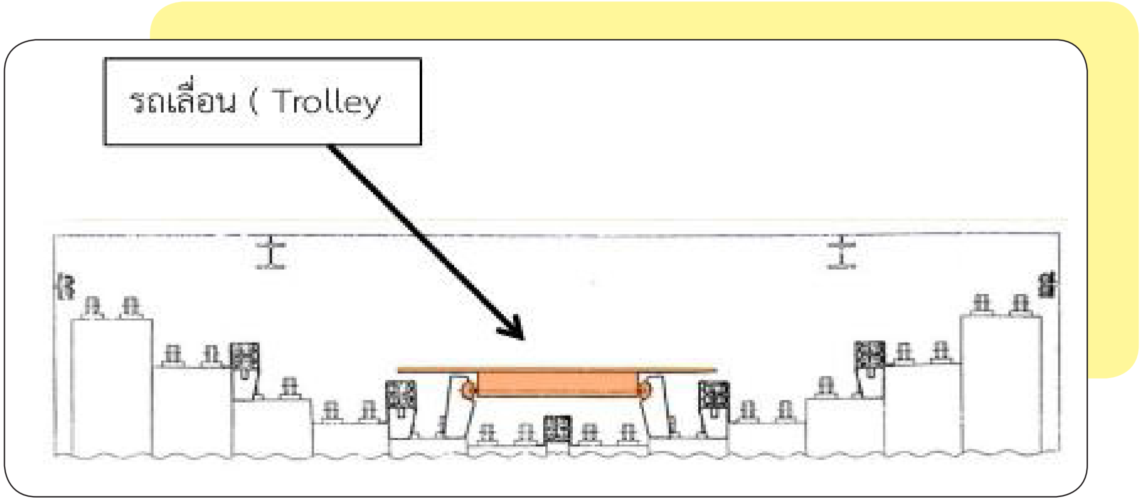
ในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3 (Charging Stage 3) หรือเมื่อแบตเตอรี่มีการคายพลังงานจะมีการเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนมีความไวไฟจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่งโดยเฉพาะในระบบอากาศปิดเช่นเรือดำน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการนำระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ ระบบนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic) ตัวอย่างอยู่ในรูปที่ 24

การทำงานคือ เมื่อก๊าซไฮโดรเจนเข้ามาสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกรวมกับก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในตัวเรือดำน้ำ และรวมกันกลายเป็นไอน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นตะแกรง และติดตั้งกระจายอยู่ในเรือดำน้ำ ระบบนี้ไม่ต้องใช้พลังงานในการสร้างปฏิกิริยาจึงไม่มีการสูญเสียพลังงานจากแบตเตอรี่



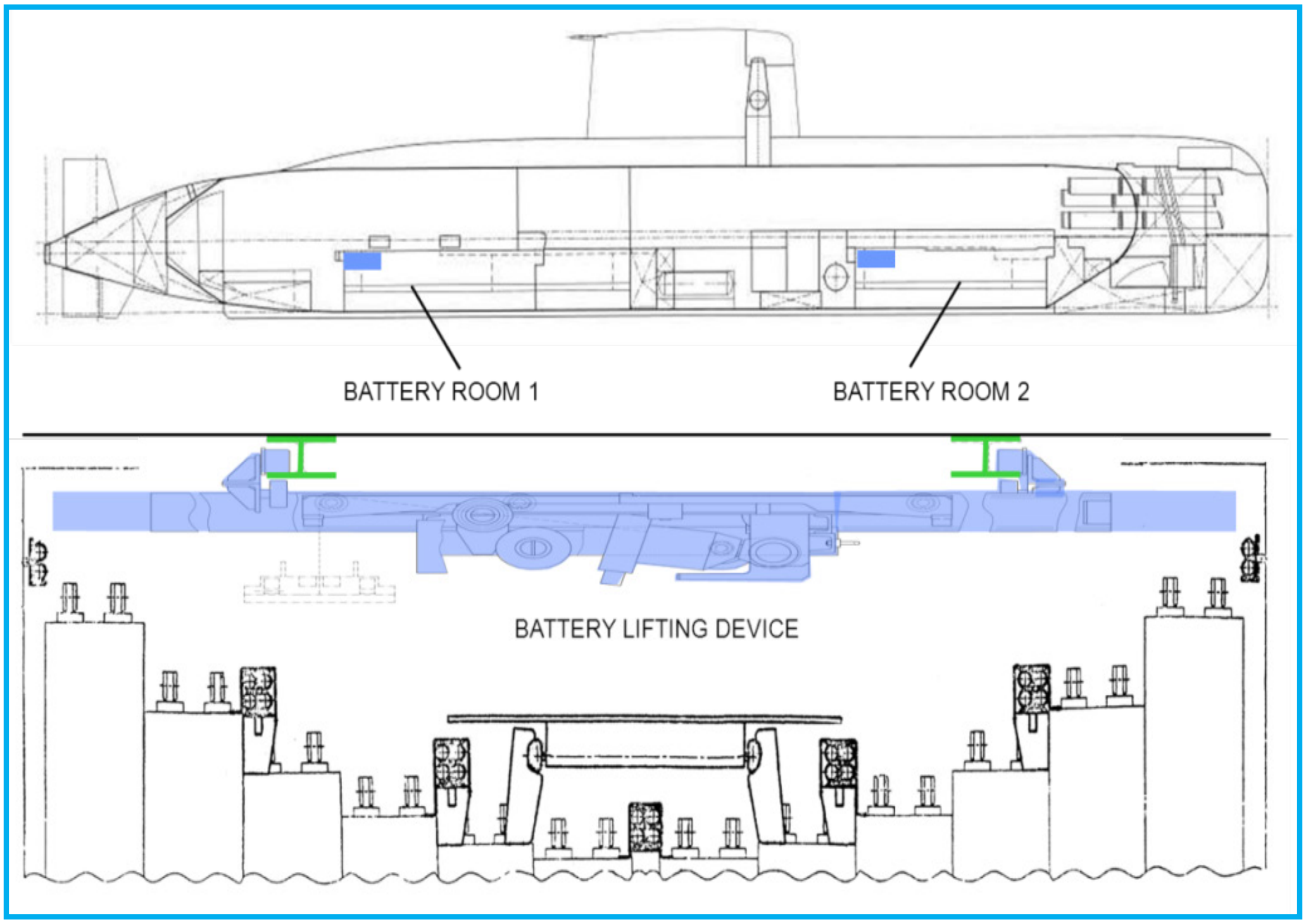
24 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic)

5. ระบบช่วยในการบำรุงรักษา ใช้งาน และเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Servicing System) เนื่องจากห้องแบตเตอรี่เป็นห้องที่มีพื้นที่จำกัด การเข้าไปบำรุงรักษาใช้งานกระทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการบำรุงรักษาใช้งาน และเมื่อจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ ในการบำรุงรักษาในห้องแบตเตอรี่จะมีรถเลื่อน (Trolley) พาดอยู่บนเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งอยู่กลางห้องดังที่แสดงในรูปที่ 25



25 รถเลื่อน (Trolley) ในห้องแบตเตอรี่

ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้รถเลื่อนเพื่อเข้าไปบำรุงรักษา เช่น เติมน้ำกลั่น หรือ ทำความสะอาดเซลล์แบตเตอรี่ต่างๆ ในห้องแบตเตอรี่ได้ ในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ เมื่อมีการนำเซลล์แบตเตอรี่ลงไปติดตั้งในห้องแบตเตอรี่ทางเข้าออกของเซลล์แบตเตอรี่มีอยู่ช่องทางเดียวซึ่งพอดีกับเซลล์หนึ่งเซลล์และตำแหน่งของช่องทางนี้จะอยู่บริเวณกลางห้องแบตเตอรี่ ดังนั้นเมื่อนำเซลล์แบตเตอรี่ลงไปติดตั้งในห้องแบตเตอรี่เซลล์ที่อยู่ด้านริมจะถูกนำลงไปก่อน การเคลื่อนเซลล์แบตเตอรี่จากกลางห้องไปยังริมห้องจำเป็นต้องใช้เครน ซึ่งเครนนี้มีลักษณะเป็นคานแบบติดตั้งชั่วคราว โดยทางด้านริมของห้องแบตเตอรี่ตามแนวยาวของตัวเรือทั้งสองข้างจะมีรางเพื่อให้คานของเครนพาดทางปลายทั้งสองในแนวขวาง คานของเครนจะสามารถเคลื่อนที่ตลอดแนวยาวของห้องแบตเตอรี่ โดยจะมีรอกเพื่อยกเซลล์แบตเตอรี่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในห้อง โดยจะติดตั้งเซลล์เริ่มจากริมทั้งสองข้างมายังกลางห้องแบตเตอรี่ ดังนั้นหากต้องการเปลี่ยนเซลล์ที่อยู่ด้านในต้องมีการยกเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ตรงกลางห้องออก และเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ถัดไปเรื่อย ๆ จนถึงเซลล์ที่ต้องการเปลี่ยนเครนและตัวอย่างการยกเซลล์แบตเตอรี่แสดงในรูปที่ 26 และ รูปที่ 27



26 เครนสำหรับยกเซลล์แบตเตอรี่

27 การบรรจุเซลล์แบตเตอรี่โดยใช้เครน

บทสรุป

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นระบบการทำงานและระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับเรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้าซึ่งใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นหลัก ในการออกแบบระบบเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดทั้งในด้านพื้นที่ปฏิบัติงานในเรือ ความสามารถในการควบคุมใช้งานได้โดยกำลังพลที่มีจำนวนจำกัดและการปฏิบัติการของเรือดำน้ำซึ่งเวลาในการปฏิบัติภารกิจจะอยู่ใต้น้ำเป็นหลัก

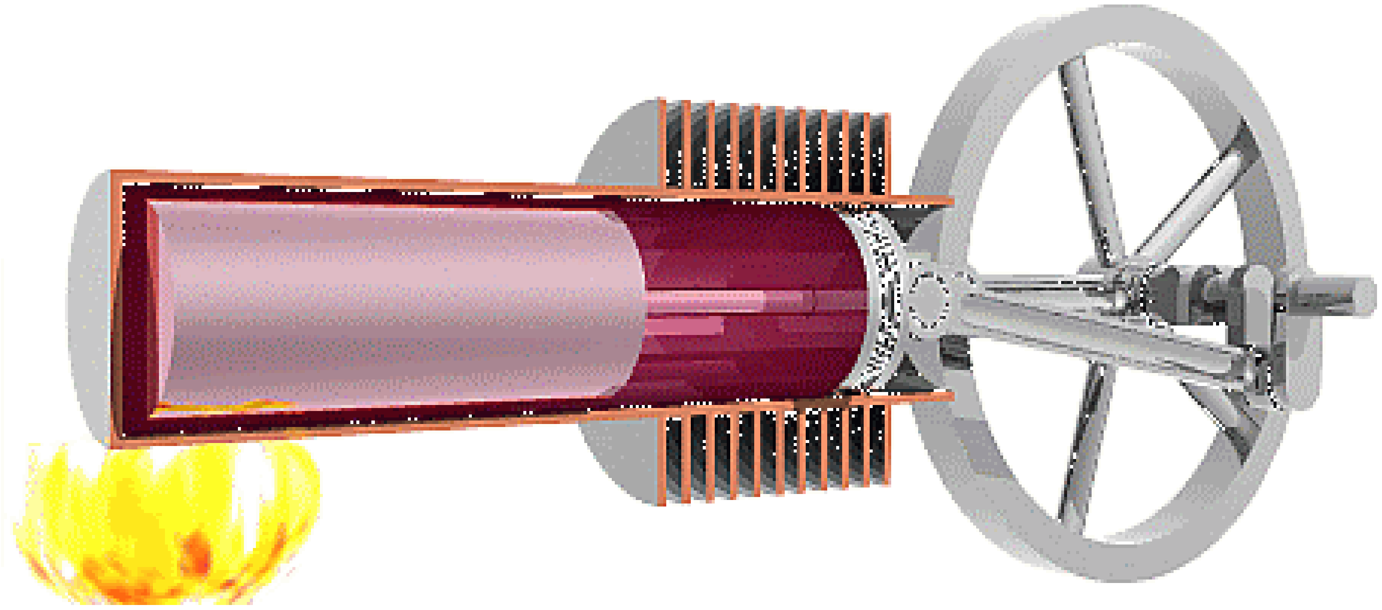
เอกสารอ้างอิง

1. http://www.systems-sunlight.com/
2. Schnell, A. Battery Monitoring System [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July ,4 2013.
3. Schnell, A. Battery Cooling System[PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July 2013 ,4.
4. Schnell, A. Acid Circulating System [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July 2013 ,4.
5. Schnell, A. Battery Service System [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July 2013 ,4.

การใช้เทคโนโลยีเครื่องยนต์สเตอร์ลิง กับระบบ AIP ในเรือดำน้ำ

นาวาเอก ชลัมพ์ โสมาภา
หัวหน้าแผนกเครื่องกล กองออกแบบกลจักร
กรมแผนการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

เป็นที่ทราบกันดีว่ามีแนวความคิดที่จะมีเรือดำน้ำไว้ใช้ในกองทัพเรืออีกครั้งหนึ่ง เพราะเรือดำน้ำไม่ว่าจะเป็นประเทศใดก็ตามหากมีไว้ในครอบครองแล้วจะเป็นยุทโธปกรณ์ที่มีคุณค่าทางยุทธการสูงในทางทหารและปัจจุบันเรือดำน้ำก็กำลังเป็นที่ต้องการของบรรดาประเทศเพื่อนบ้านของเราอีกหลายประเทศซึ่งบางประเทศก็มีการจัดหาเรือดำน้ำไว้ใช้แล้วไม่ว่าจะเป็นประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย หรือแม้แต่พม่าก็กำลังมีการเตรียมการจัดหาเรือดำน้ำไว้ใช้งานแล้วเช่นกันสักวันหนึ่งในอนาคตหากรัฐบาลเห็นความสำคัญของการมีเรือดำน้ำไว้ใช้และประชาชนจะมีความเข้าใจมากขึ้นถึงความต้องการของกองทัพเรือในการมีเรือดำน้ำไว้ใช้เพื่อปกป้องคุ้มครองผลประโยชน์ของชาติทางทะเลได้กองทัพเรือก็อาจมีเรือดำน้ำเหมือนประเทศเพื่อนบ้านของเราบ้างก็ได้ การมีข้อมูลเรื่องเรือดำน้ำไว้ จึงเป็นความจำเป็นของกรมอู่ทหารเรือจะเป็นหน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่ซ่อมแซมบำรุงรักษาเรือดำน้ำหากจะต้องมีเรือดำน้ำไว้ใช้งานขึ้นมาจริง ๆ สักวันหนึ่งในอนาคตก็เป็นได้ ในบทความนี้ในฐานะที่ผู้เขียนทำงานอยู่ในกรมอู่ทหารเรือและเกี่ยวข้องกับงานทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องยนต์กลไกต่าง ๆ ในเรือจึงอยากจะขอนำเสนอเนื้อหาเฉพาะในด้านเทคโนโลยีที่น่าสนใจในเรือดำน้ำซึ่งผู้ผลิตเรือดำน้ำให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ซึ่งก็คืออุปกรณ์ที่จะช่วยให้เรือดำน้ำมีความสามารถในการปฏิบัติการใต้น้ำที่ยาวนานขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องขึ้นมาที่ผิวน้ำเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ซึ่งก็คือระบบสนับสนุนการขับเคลื่อนเรือดำน้ำแบบไม่ต้องอาศัยอากาศ หรือที่เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่าระบบ Air Independent Propulsion (AIP) นั่นเอง



การพัฒนาระบบ AIP นี้เกิดขึ้นมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่สองแล้วซึ่งในสมัยนั้นเรือดำน้ำเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องขึ้นมาที่ผิวน้ำอยู่บ่อยครั้งในระหว่างการทำสงคราม เพื่อทำการ Recharge แบตเตอรี่ด้วยการเดินเครื่องยนต์ที่ผิวน้ำเพราะต้องอาศัยอากาศในการทำงานผลิตกระแสไฟฟ้าและเก็บบรรจุไว้ในแบตเตอรี่ใช้ในระหว่างการดำใต้น้ำ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือเมื่อเรือดำน้ำโผล่ขึ้นมาลอยอยู่เหนือผิวน้ำ หรือกำลังดำใต้น้ำแบบ Snorkeling ก็ตามอาจจะเกิดความเสี่ยงต่อการตรวจจับจากเรือของฝ่ายข้าศึกได้ จากคลื่นที่ผิวน้ำหรือความร้อนจากเครื่องยนต์ ส่งผลให้เกิดความพยายามหาแนวทางและวิธีการในการทำให้เรือดำน้ำสามารถดำอยู่ใต้น้ำและปฏิบัติงานใต้น้ำได้ยาวนานขึ้น นี่จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำไมระบบ AIP ถึงได้รับการพัฒนาขึ้นมา นับตั้งแต่ยุคสงครามโลกครั้งที่สองจวบจนปัจจุบันนี้ ระบบ Air Independent Propulsion ได้รับการพัฒนาขึ้นไปอย่างรวดเร็วจากหลายประเทศโดยเฉพาะจากประเทศในสหภาพยุโรปหรือประเทศสหรัฐอเมริกาก็มีการคิดค้นระบบ AIP ขึ้นมาแบบต่าง ๆ กันไปซึ่งจะสามารถจำแนกระบบ AIP แบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

ชนิดของระบบ AIR INDEPENDENT PROPULSION ที่มีใช้ในปัจจุบัน

a) ระบบพลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear Propulsion)

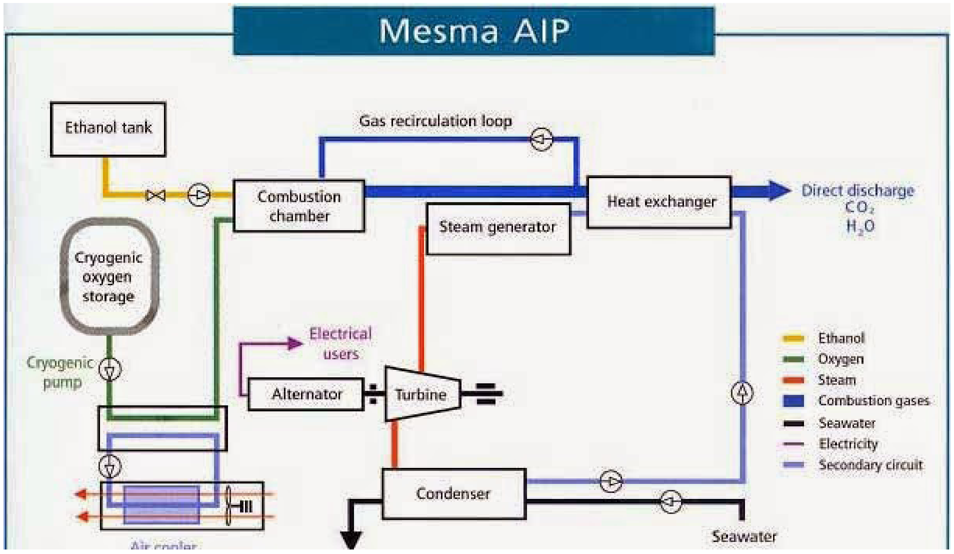
พลังงานนิวเคลียร์เป็นชนิดของ AIP ที่สามารถทำให้เรือดำน้ำดำอยู่ใต้น้ำได้นานที่สุด แต่มีราคาสูงมากและไม่เหมาะสมกับสถานการณ์โลกที่มีความเปราะบางด้านการใช้นิวเคลียร์เป็นอย่างมากทั้งในแง่ทางการเมืองและในด้านความปลอดภัยและการควบคุมดูแลรักษา

b) ระบบดีเซลแบบวัฏจักรวงจรปิด (Closed Cycle Diesel Systems; CCD)

ในระบบ CCD จะมีการจัดเก็บออกซิเจนสำหรับใช้ในการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อเรือดำน้ำอยู่ใต้น้ำ เทคโนโลยีนี้ได้รับการทดสอบในเบื้องต้นโดยกองทัพเรือนาซี ของประเทศเยอรมนี (Kriegsmarine) และถูกนำมาใช้ในภายหลังโดยกองทัพเรือของสหภาพโซเวียตในเรือ Quebec Class จำนวน 30 ลำ ระบบ AIP แบบนี้ต้องมีการจัดเก็บออกซิเจนในรูปแบบออกซิเจนเหลว (Liquid Oxygen; LOX) โดยออกซิเจนจะต้องผสมกับก๊าซไอเสียหรือก๊าซเฉื่อยเพื่อปกป้องชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ปรากฏว่า ในการใช้งานเรือดำน้ำของสหภาพโซเวียตประสบกับความยากลำบากมากในการทำงานอีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะเกิดเพลิงไหม้ได้ง่ายด้วย และยังมีข้อจำกัดในการดำน้ำเนื่องจาก LOX (Liquid Oxygen) เกิดการระเหยหรือเกิดการเดือดอย่างรวดเร็ว ในที่สุดก็ยกเลิกการใช้งานในปี ค.ศ. 1970 แม้ว่าระบบ AIP แบบ CCD จะเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายแต่ความท้าทายที่ยากก็คือการจัดเก็บออกซิเจนให้มีความปลอดภัยและมีความเสี่ยงต่ำในการใช้งาน เชื้อเพลิงเหลวที่มีความเสถียร และสามารถสลายตัวแบบเร่งปฏิกิริยา จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับระบบ CCD ในปัจจุบันระบบ AIP แบบ CCD ที่ผลิตขึ้นโดยบริษัท Thyssen Marine Systems จากประเทศเยอรมนีจะมีการใช้เชื้อเพลิงดีเซล LOX และอาร์กอนเป็นส่วนประกอบของระบบ

c) ระบบเทอร์ไบน์แบบวัฏจักรวงจรปิด (Closed Cycle Steam Turbine)

ระบบ AIP วัฏจักรเทอร์ไบน์แบบวงจรปิดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบนิวเคลียร์ในด้านความร้อนแล้วอาจมีคุณสมบัติดีเทียบเท่าในการผลิตไอน้ำผ่านกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือระบบเทอร์โบไดรฟ์เพื่อใช้ขับระบบขับเคลื่อน กล่าวคือระบบนิวเคลียร์ทั้งชุดจะถูกแทนที่ด้วยแหล่งเชื้อเพลิงออกซิเจนสำหรับการเผาไหม้ให้เกิดความร้อน มีการใช้ระบบของ MESMA (Module d΄Energie Sous - Marin Autonome) จากประเทศฝรั่งเศสในเรือดำน้ำ Scorpene Class ซึ่งต้องเพิ่มความยาวของตัวเรือออกไปอีก 8.5 เมตร และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก 305 ตัน



ระบบ Air Independent Propulsion ของ MESMA

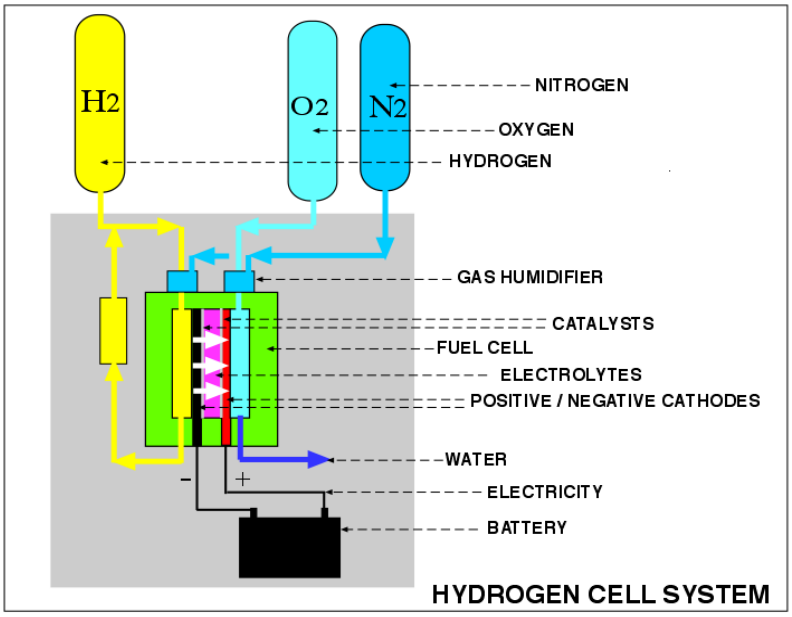
ซึ่งระบบการเผาไหม้ของ MESMA จะใช้เอทานอล โดยมี LOX จะทำหน้าที่เป็น Oxidizer ส่วนผสมจะถูกเผาไหม้ที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศถึง 60 เท่า บริษัทฯกล่าวว่าระบบนี้สามารถทำให้เรือดำน้ำสามารถดำได้นานกว่าระบบ AIP แบบ Diesel - electric Scorpene Class มากกว่าถึง 3 เท่า หรือดำน้ำได้นานถึง 18 วัน โดยไม่ต้องโผล่ขึ้นมาที่ผิวน้ำเลย

อย่างไรก็ตามระบบของ MESMA ก็ยังคงถูกจำกัดด้วยความจำเป็นที่ต้องจัดเก็บและจัดการ LOX เช่นเดียวกับระบบของ CCD

d) ระบบเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells System)

ระบบ AIP ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงจะใช้ออกซิเจนและไฮโดรเจนในการสร้างกระแสไฟฟ้า การใช้เซลล์เชื้อเพลิงได้รับความนิยมมานานหลายทศวรรษในยานพาหนะทางอวกาศซึ่งจะใช้ LOX และไฮโดรเจนเหลวเป็นเชื้อเพลิงหลักของเครื่องยนต์ สิ่งสำคัญในการใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนั้นคือต้องมีการจัดเก็บออกซิเจนและไฮโดรเจนไว้ก่อนที่จะนำเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตน้ำกลั่นออกมาเป็น by product สิ่งที่น่าสนใจที่สำคัญในระบบเซลล์เชื้อเพลิง คือไม่มีส่วนประกอบที่เคลื่อนไหวในชิ้นส่วนที่สำคัญ ๆ เลย ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีความเงียบเป็นพิเศษโดยเฉพาะเสียงของเครื่องจักรเมื่อเปรียบเทียบกับระบบวัฏจักรวงจรปิดของเครื่องยนต์ดีเซลและเทอร์ไบน์ เทคโนโลยีที่เป็นที่นิยมได้แก่เซลล์เชื้อเพลิงประเภท PEM (Proton Exchange Membrane) ใช้อยู่ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงของ Siemens ในเรือดำน้ำชนิด U221A และ 214 SSK ของกองทัพเรือเยอรมนี

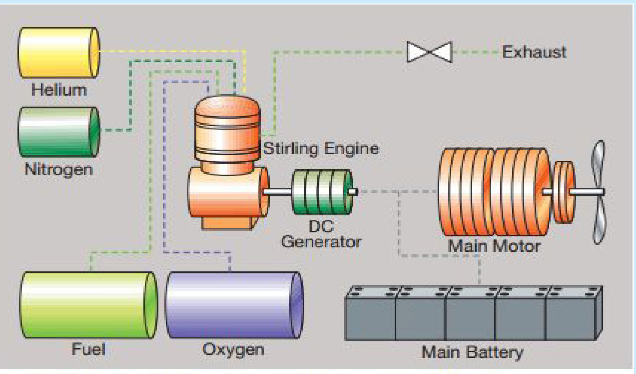
เรือดำน้ำ Type 212 ของประเทศเยอรมนีใช้เซลล์เชื้อเพลิงในระบบขับเคลื่อน



แผนภาพการทำงานของ
ระบบเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน

e) ระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engines)

เทคโนโลยีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกำเนิดเมื่อปี ค.ศ. 1816 แต่ต้องรอจนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้จึงเริ่มมีการผลิตขึ้นสำหรับการใช้งานจริงอย่างเป็นรูปธรรมในทางทหาร ในระบบ AIP สำหรับใช้ในเรือดำน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมักได้รับการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ไอน้ำแบบลูกสูบว่าคล้ายกันที่มีการใช้กระบอกสูบและลูกสูบแต่ที่จริงแล้วหลักการทำงานจะแตกต่างกันอยู่พอสมควร สารทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะถูกซีลและถูกแยกออกจากแหล่งกำเนิดความร้อนในลักษณะวัฏจักรวงจรปิด ความร้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยการเผาไหม้ภายนอกของน้ำมันเชื้อเพลิงกับ Oxidizer ระบบ AIP ของบริษัท Kockums ประเทศสวีเดนจะใช้ LOX (Liquid Oxygen) เป็น Oxidizer และใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ภายใต้ความดันสูงซึ่งจะสูงกว่ามวลน้ำโดยรอบทำให้สามารถปล่อยไอเสียสู่ทะเลได้โดยตรง เครื่องยนต์สเตอร์ลิงนี้จะถูกต่อเข้ากับกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะส่งต่อไปที่ระบบไฟฟ้าหลักของเรือดำน้ำ และ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้องการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลกับ LOX จึงมีความจำเป็นต้องจัดหา LOX ด้วยซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของระบบนี้เหมือนกับระบบ AIP อื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น



The principle of integrating the Stirling AIP system

ระบบ Air Independent Propulsion (AIP)
ทำงานด้วยเครื่องจักรสเตอร์ลิง

จะเห็นว่าระบบ AIP ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ในการพิจารณาจะเลือกใช้ระบบใดนั้นมีจะความสำคัญอย่างยิ่งยวด เพราะนั้นหมายถึงการซ่อมบำรุง และการดูแลรักษา ความคุ้มค่าในการใช้งานและปัจจัยอื่น ๆ ที่จะตามมาซึ่งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละระบบ แม้ว่าระบบ AIP ชนิดใช้เซลล์เชื้อเพลิงดูเหมือนจะเป็นระบบที่ดีที่สุดที่ได้รับการยอมรับจากบรรดาผู้ผลิตและผู้ใช้ในหลายประเทศ แต่ในบทความนี้ผู้เขียนจะขอกล่าวถึงระบบ AIP แบบเครื่องสเตอร์ลิงเพราะเป็นระบบที่มีความน่าสนใจอยู่ไม่น้อยและเป็นระบบ AIP ที่มีใช้ในเรือดำน้ำจากสาธารณรัฐประชาชนจีนที่กองทัพเรือไทยเคยมีความสนใจจะจัดซื้อ โดยจะขอกล่าวถึงต้นกำเนิดและประวัติความเป็นมาคร่าว ๆ ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง องค์ประกอบและส่วนประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ทฤษฎีการทำงานของวัฏจักรสเตอร์ลิง และเปรียบเทียบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

ประวัติความเป็นมาของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) เป็นเครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) ชนิดสันดาปภายนอกที่ทำงานเป็นวัฏจักร (Cycle) โดยอาศัยการอัดและขยายตัวของอากาศหรือสารทำงานชนิดอื่น ๆ ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันและเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นกำลังงานในการทำงานของเครื่องจักร เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้รับการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมานานแล้ว ตามหลังยุคสมัยเครื่องจักรไอน้ำแต่ไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในระบบเครื่องต้นกำลังขับมากนักแม้จะมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องก็ตาม โดยอาจเพราะความไม่เหมาะสมในการใช้งานด้วยขนาดน้ำหนักที่ใหญ่ และต้องใช้วัสดุที่ทนต่อความร้อนสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

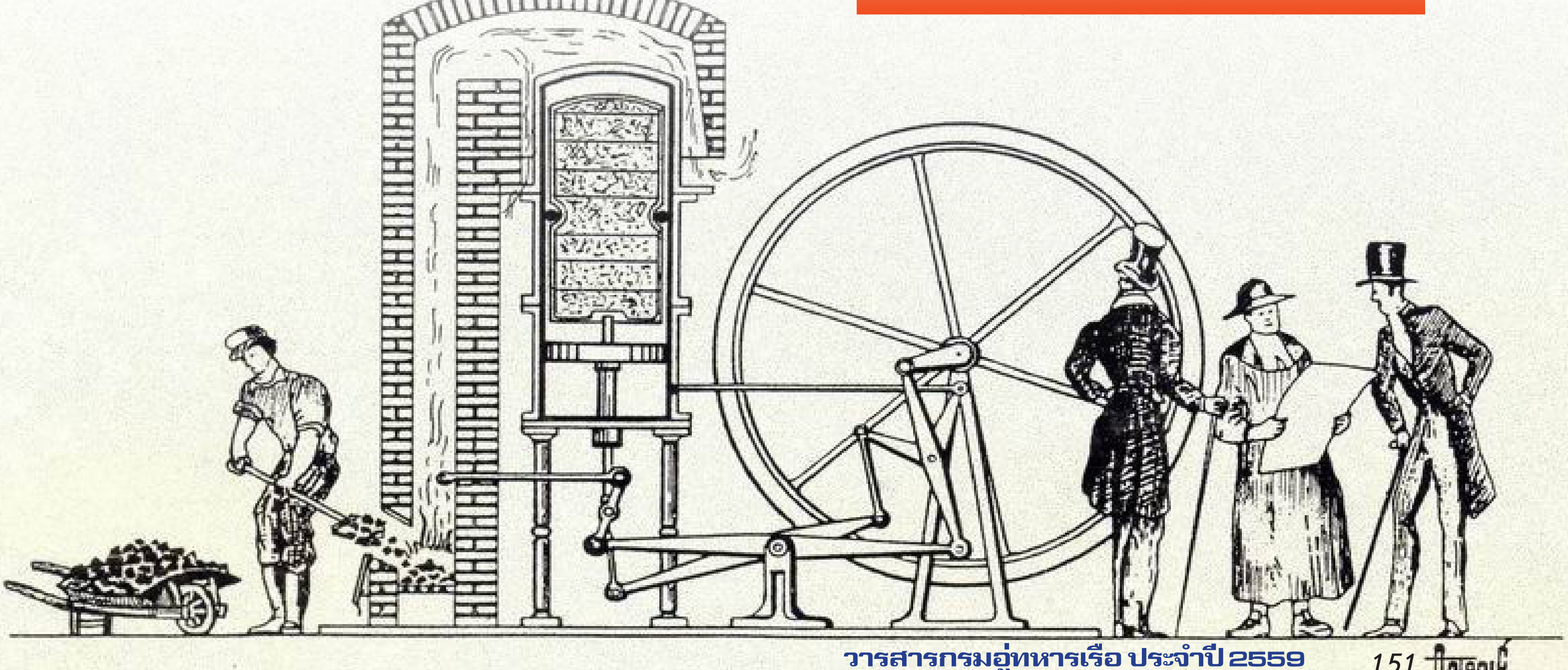
อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีข้อดีอยู่หลายประการซึ่งเป็นที่ได้รับความสนใจอย่างมากโดยเฉพาะการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพราะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้แหล่งความร้อนได้หลากหลาย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ที่น่าสนใจคือมีการใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในระบบขับเคลื่อนแบบไม่อาศัยอากาศ (Air Independent Propulsion System) หรือ เรียกอีกอย่างว่าระบบ AIP โดยบริษัท Kockums สำหรับเรือดำน้ำของประเทศสวีเดน โดยแหล่งความร้อนที่ได้นั้นมาจากการเผาไหม้ออกซิเจนเหลวกับน้ำมันดีเซลในห้องเผาไหม้แรงดันสูง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนแบบ Closed - Cycle Regenerative อาศัยก๊าซเป็นสารทำงาน คำว่า Closed – Cycle คือกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่สารทำงานอยู่ในระบบอย่างถาวร และคำว่า Regenerative เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในแบบพิเศษสามารถกักเก็บความร้อนได้เรียกว่า Regenerator ซึ่งการมีอุปกรณ์นี้ในระบบทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีความพิเศษ และแตกต่างจากเครื่องยนต์วัฏจักรอากาศร้อนแบบปิดชนิดอื่น

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องจักรไอน้ำ (Steam Engines) ที่ทำงานเงียบและใช้แหล่งความร้อน (Heat Source) ได้หลากหลายซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีความแตกต่างจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) เช่น เครื่องยนต์วัฏจักรออตโต (Otto Cycle) หรือวัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังมีความเหมาะสมและสามารถใช้ได้กับแหล่งพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนอีกด้วย (Renewable Energy) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ ยิ่งทำให้ผู้คนเริ่มตระหนักถึงปัญหาและให้ความสำคัญเรื่องน้ำมันที่ใกล้จะหมดไปจากโลกรวมถึงปัญหาการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกด้วย (Climate Change)

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงปัจจุบันได้รับความสนใจมากขึ้นในฐานะที่เป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมขนาดเล็ก (Micro Combined Heat and Power Units : Micro – CHP) ซึ่งเป็นระบบที่มีปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรไอน้ำ (Steam Engine)

ภาพเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสมัยโบราณ



โรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling) นักประดิษฐ์ชาวสก๊อตแลนด์ผู้ประดิษฐ์ต้นแบบเครื่องยนต์วัฏจักรปิดแบบอาศัยอากาศ (Closed Cycle Air Engine) ได้รับแรงบัลดาลใจในการผลิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพราะต้องการผลิตเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพมีความปลอดภัยสูงกว่าเครื่องจักรไอน้ำที่มักเกิดเหตุระเบิดทำให้มีผู้เสียชีวิตมากมาย โรเบิร์ต สเตอร์ลิง สร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้สำเร็จในปี ค.ศ. 1816 หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1871 Gustav Schmidt ได้พัฒนาทฤษฎีการวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ด้วยกฎการอนุรักษ์มวล สมการการเคลื่อนที่แบบ Sinusoidal และได้ทำการพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ จนในปี ค.ศ.1958 Meijer ได้สร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้าโดยใช้กลไกแบบรอมห์บิค มีการใช้รีเจนเนอร์เรเตอร์ (Regenerator) และ ใช้ไฮโดรเจนเป็นสารทำงานแทนอากาศทำให้ประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงขึ้น

นายฟลีมมิ่งเสนอให้เรียกเครื่องยนต์ชนิดนี้ว่า เครื่องยนต์ “สเตอร์ลิง” (Stirling Engine) เช่นเดียวกับเครื่องจักรไอน้ำ (Steam Engine) ซึ่งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะถูกจำแนกเป็นเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายนอก (External Combustion Engine) เพราะการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจากสารทำงาน (Working Fluid) ไหลอยู่ภายนอกเครื่องยนต์ (โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อน) เป็นการแยกกระบวนการสันดาปและไอเสียออกจากส่วนที่ทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ที่ความร้อนเกิดขึ้นจากการสันดาปของเชื้อเพลิงและสารทำงานที่อยู่ภายในโครงสร้างเครื่องยนต์ โดยปกติแล้วมักนิยมใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ในลักษณะรูปแบบของเครื่องยนต์ชนิดลูกสูบ (Reciprocating Engine)

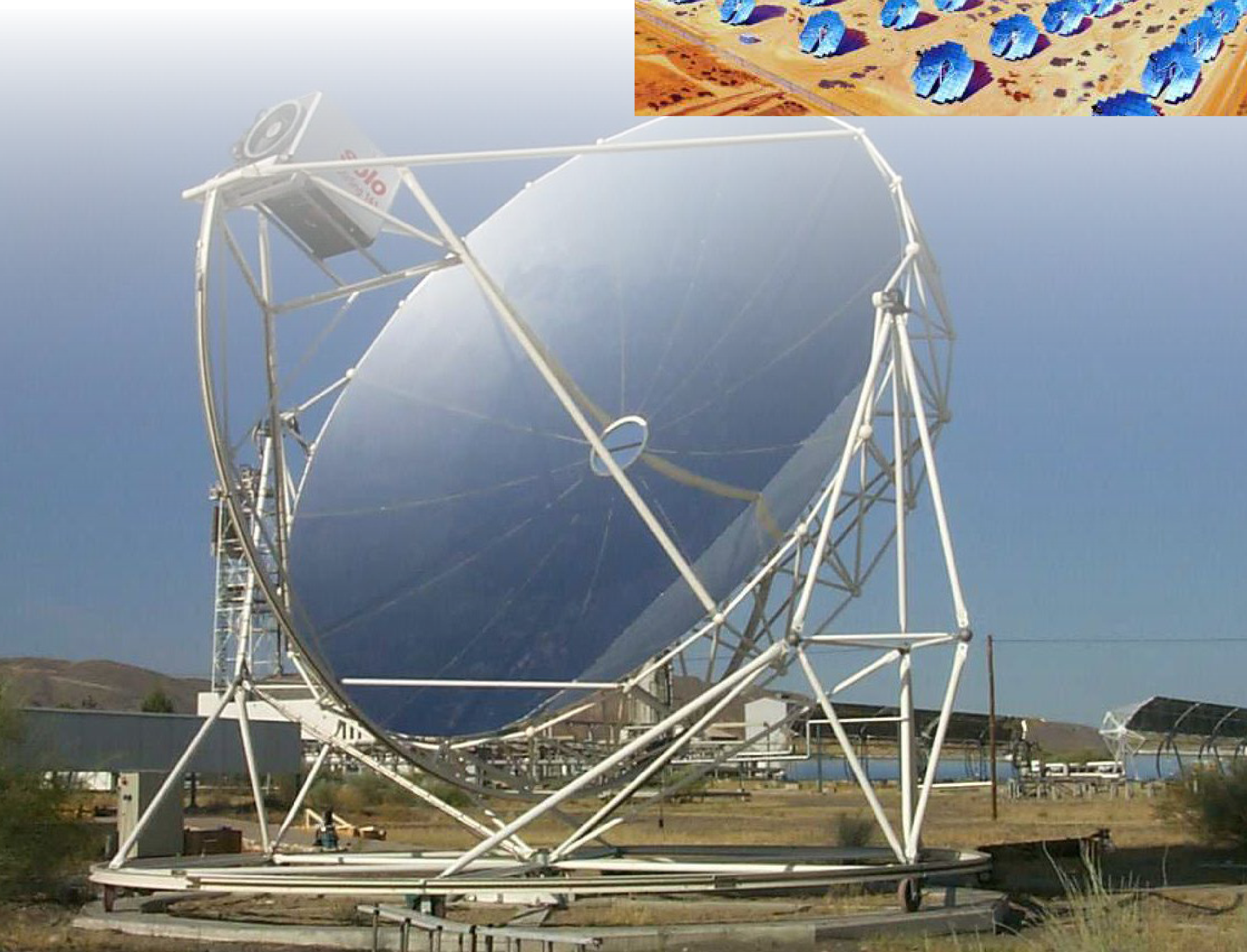
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ทำการทดสอบใช้งานจริงครั้งแรกในปี ค.ศ.1818 โดยการนำมาใช้ในการสูบน้ำที่เหมืองแร่แห่งหนึ่ง มีการจดสิทธิบัตรและเนื้อหาสำคัญของสิทธิบัตรเครื่องจักรสเตอร์ลิงจะว่าด้วยเรื่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน “Economiser” ซึ่งเป็นชื่อที่บ่งบอกถึงความหมายในความประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่สูงขึ้น โดยในสิทธิบัตรยังมีรายละเอียดการนำ“Economiser” ที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษมาใช้ซึ่งปัจจุบันรู้จักกันในชื่อว่า “Regenerator” โรเบิร์ตและน้องชายที่เป็นวิศวกรได้พัฒนาต่อยอดต่อมาทำให้มีการจดสิทธิบัตรในส่วนแบบที่มีการปรับปรุงขึ้นอีกหลายส่วนด้วยกัน เช่น ด้านกำลังอัด (Pressurization) ซึ่งภายในปี ค.ศ.1843 ได้มีการเพิ่มกำลังดัน (Power Output) เพื่อขับเครื่องจักรทุกตัวที่โรงหล่อเหล็กที่เมืองดันดี

โรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling)
ชาวสกอตซ์ผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

แม้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้มีการผลิตขึ้นมา มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องยาวนาน แต่การใช้งานในเรือรบไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก จนเมื่อ ปี ค.ศ.1996 กองทัพเรือสวีเดนมีการใช้ระบบสเตอร์ลิงในระบบขับเคลื่อนเรือดำน้ำจำนวน 3 ลำ แบบ Gotland Class ซึ่งขณะแล่นบนผิวน้ำจะขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซลเรือ แต่ขณะปฏิบัติการใต้น้ำจะมีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนแบบสเตอร์ลิง (Stirling Driven Generator) เพื่อรีชาร์จแบตเตอรี่เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อน จากการเผาไหม้ออกซิเจนเหลวและเชื้อเพลิงดีเซลเพื่อให้กำลังกับเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในเรือดำน้ำสวีเดนชุด Sodermanland Class อีกด้วย

บริษัท Swedish Shipbuilder Kockums ได้จำหน่ายเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้กับประเทศญี่ปุ่น เพื่อเตรียมจะติดตั้งให้กับเรือดำน้ำชุดใหม่ของญี่ปุ่นเอง ข้อดีในการติดตั้งในเรือดำน้ำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือเครื่องยนต์ทำงานเงียบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังเป็นหัวใจสำคัญของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (Concentrated Solar Power Technology) ที่รู้จักกันในชื่อของ CSP Dish Stirling มีหลายบริษัทที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชนิดนี้ เช่น บริษัท Cleanergy บริษัท Ripasso Energy และ บริษัท United Sun Systems International เป็นต้น

จานรวมแสงอาทิตย์ทำงานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ณ Plataforma Solar de Almeria (PSA) ประเทศสเปน



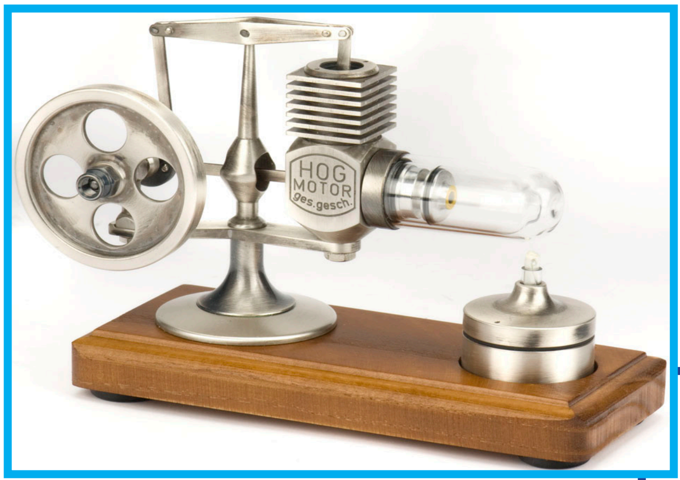
ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์อากาศร้อนชนิด (Hot Air Engine) ซึ่งมีก๊าซบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบมีหลักการทำงานคือเมื่อความร้อนในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นจะทำให้ก๊าซในกระบอกสูบขยายตัวเมื่อก๊าซเคลื่อนตัวไปกระทบกับความเย็นอีกด้านหนึ่งของกระบอกสูบก๊าซก็เกิดการหดตัว เครื่องยนต์ได้รับการออกแบบให้ก๊าซทำงานถูกอัดตัวในส่วนที่เย็นของเครื่องยนต์และขยายตัวออกในส่วนที่ร้อนกว่า ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลหรืองานได้อย่างต่อเนื่อง เกิดแรงดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาอยู่ภายในกระบอกสูบตราบเท่าที่ยังคงมีแหล่งความร้อนป้อนให้กับเครื่องยนต์ และควรมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในแบบ Regenerative ซึ่งจะทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอีกด้วย

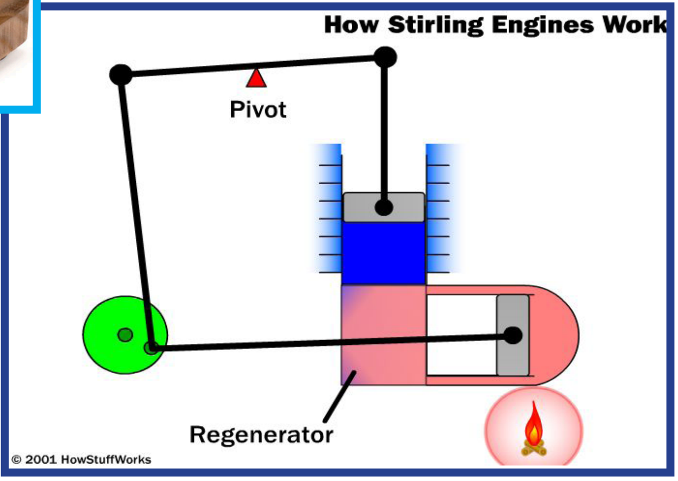
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการทำงานแบบระบบปิด ความร้อนสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องยนต์จึงต้องมีการถ่ายเทความร้อน (Heat Source) ไปสู่ก๊าซทำงานด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่ Heat Sink โดยปกติแล้วระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมี Heat Source และ Heat Sink อย่างละหนึ่งส่วนแต่อาจมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลายส่วนได้

a) Heat Source หรือแหล่งความร้อนอาจมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง เพราะว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะไม่เกิดการผสมกับก๊าซทำงาน จึงไม่มีการสัมผัสกับส่วนประกอบภายในของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงสามารถใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากน้ำมันเชื้อเพลิงปกติได้ (ชนิดที่ไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายในได้) เช่น ก๊าซจากขยะ (Landfill Gas) ที่มีส่วนประกอบของ Siloxane ที่อาจก่อให้เกิดตะกรัน Silicon dioxide ในเครื่องยนต์ทั่วไปได้ ยังมีแหล่งความร้อนอื่นที่สามารถนำมาใช้กับระบบได้ ได้แก่ จานรวมพลังงานแสงอาทิตย์ (Concentrated Solar Energy) พลังงานความร้อนจากใต้พิภพ (Geothermal Energy) พลังงานนิวเคลียร์(Nuclear Energy) พลังงานความร้อนส่วนเกินหรือเหลือใช้ (Waste Heat) และพลังงานชีวมวล (Bioenergy) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์กำลังเป็นที่แพร่หลายในต่างประเทศเพราะเป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และราคาไม่สูงเกินไปซึ่งต้องมีการใช้กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์หรือจานรวมแสงอาทิตย์ หรือเลนส์ชนิด Fresnel Lens เป็นส่วนประกอบ



โมเดลเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็ก



b) Heater (Hot Side Heat Exchanger) ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่มีกำลังไม่สูงมากนัก Heater ที่ใช้จะเป็นพื้นผนังความร้อนแบบง่าย ๆ แต่สำหรับเครื่องยนต์ที่มีขนาดกำลังที่สูงต้องมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากขึ้นเพื่อมีการถ่ายเทความร้อนได้อย่างพอเพียง ปกติในการใช้งานจริงจะใช้ครีบระบายความร้อนแบบภายในและภายนอก (Internal And External Fins) การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้องออกแบบให้เกิดเครื่องยนต์ที่มีกำลังและแรงดันสูง ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีด้านร้อนทำด้วยวัสดุ Alloys ที่สามารถคงความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงได้โดยจะไม่เกิดความเสียหาย หรือเกิดการคราก (Creep) ขึ้นกับเนื้อโลหะ

c) Regenerator ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิง Regenerator เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน (Internal Heat Exchanger) และเป็นที่เก็บความร้อนชั่วคราว (Temporary Heat Store) ติดตั้งอยู่ระหว่างช่องว่างด้านร้อนกับด้านเย็นโดยก๊าซทำงานจะไหลผ่านขณะที่ก๊าซเคลื่อนไปมาทั้งสองทิศทาง เป็นการนำความร้อนจากของก๊าซทำงานจากด้านหนึ่งกลับสู่อีกด้านหนึ่ง ทำด้วยวัสดุที่สร้างขึ้นง่าย ๆ เช่น ตะแกรงโลหะหรือโฟมมีพื้นที่ผิวสูงมีค่าความร้อนจำเพาะสูง ค่าการนำความร้อนต่ำ ความฝืดการไหลต่ำ Regenerator ทำหน้าที่รักษาความร้อนให้คงที่ในระบบ ไม่เช่นนั้นความร้อนที่ถูกส่งจะถูกถ่ายเทไปกับสิ่งแวดล้อมที่ช่วงระหว่างอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุด ของวัฏจักร ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ให้ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของวัฏจักรคาร์โนต์มากที่สุด (Carnot Efficiency) ผลที่ได้จากการใช้ Regenerator ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยการ Recycle หรือ การนำความร้อนภายในมาใช้ใหม่ ไม่เช่นนั้นแล้วความร้อนจะไหลผ่านเครื่องยนต์ไปโดยไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก (Irreversibility) ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ค่ากำลังเอาท์พุทที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน (Higher Power Output)

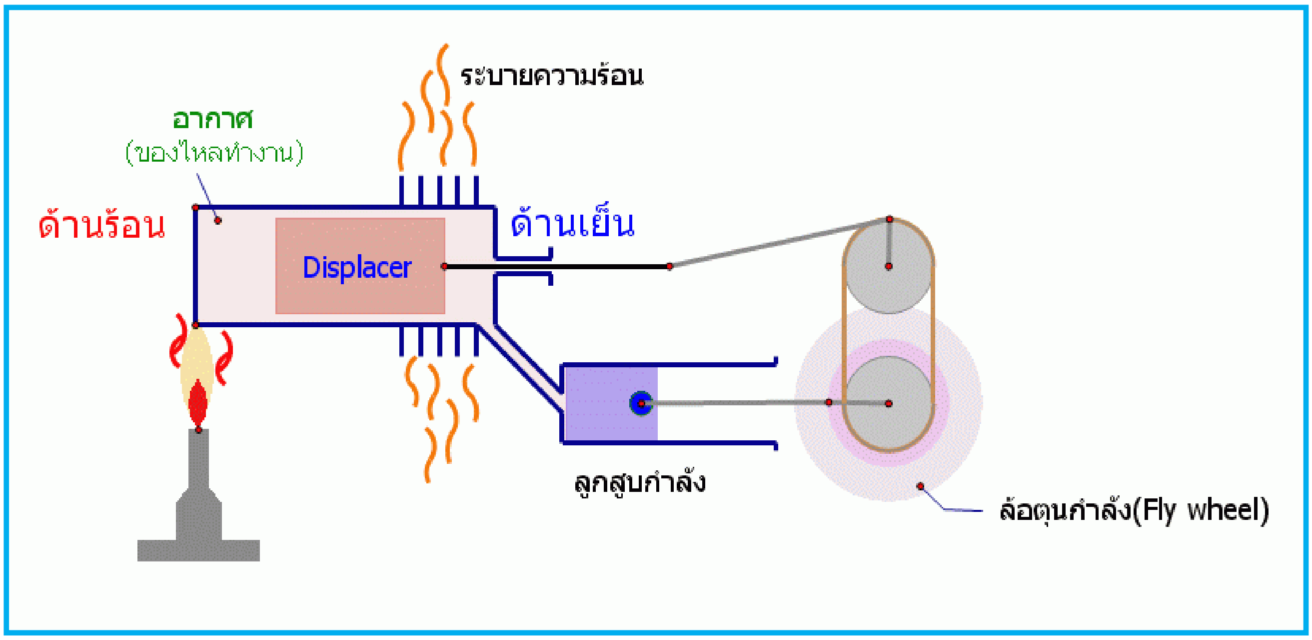
d) Cooler (Cold Side Heat Exchanger) ในการใช้ในเครื่องยนต์กำลังต่ำ Cooler จะประกอบด้วยผนังแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำความเย็นแบบง่าย แต่ในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่กำลังสูงต้องใช้ Cooler ที่มีคุณสมบัติเป็นของเหลว เช่น น้ำ เป็นต้น เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างพอเพียง

e) Heat Sink โดยปกติจะใช้อากาศที่อุณหภูมิปกติ (Ambient Temperature) ในกรณีเครื่องยนต์กำลังต่ำถึงขนาดกลางอาจต้องมีการใช้ Radiator เพื่อการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องยนต์สู่อากาศ แต่ในเครื่องยนต์เรือสามารถระบายความร้อนจากน้ำได้ ในกรณีระบบความร้อนร่วมกำลัง (Combined Heat And Power System) น้ำหล่อเย็นระบายความร้อนจะถูกนำมาใช้ได้โดยตรงหรือโดยอ้อมก็ได้ อีกหนึ่งทางเลือกคือความร้อนด้านร้อนอาจมีอุณหภูมิปกติแต่ด้าน Heat Sink อุณหภูมิจะต่ำกว่า Ambient Temperature ด้วยการใช้ Cryogenic Fluid หรือน้ำแข็ง เป็นต้น

f) Displacer เป็นลูกสูบชนิดพิเศษ สำหรับใช้ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดบีต้า (Beta) และแกมม่า (Gamma) ทำหน้าที่ขับเคลื่อนก๊าซทำงานกลับไปมาระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็นร้อน มีลักษณะแตกต่างกันตามแบบชนิดของเครื่องยนต์ตัวลูกสูบ Displacer ไม่จำเป็นต้องซีลเข้ากับกระบอกสูบก็ได้ โดยอาจเป็นการติดตั้งแบบหลวมภายในกระบอกสูบเพื่อยอมให้ก๊าซทำงานไหลผ่านไปด้านข้างขณะที่ลูกสูบ Displacer เคลื่อนที่ไปในกระบอกสูบนั้น

ตัวอย่างการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงประกอบไปด้วยลูกสูบ 2 กระบอก ซึ่งแต่ละกระบอกจะมีอากาศหรือก๊าซทำงานอยู่ภายในไม่สามารถไหลออกมาภายนอกได้ กระบอกแรกจะมีอุณหภูมิสูงซึ่งภายในจะมีลูกสูบไล่หรือ Displacer Piston และมีขนาดเล็กกว่าตัวกระบอกสูบเล็กน้อยเพื่อให้ลูกสูบสามารถไล่อากาศในกระบอกสูบให้เคลื่อนที่อยู่ระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น ลูกสูบไล่ไม่ใช่ส่วนสำคัญในการสร้างกำลังให้กับเครื่องยนต์ ส่วนกระบอกที่สองเป็นส่วนที่ไม่ได้รับความร้อน โดยภายในจะมีลูกสูบขนาดเล็กคือลูกสูบกำลัง (Power Piston) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่นำกำลังออกจากเครื่องยนต์ทั้งหมด โดยพลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะดันให้ล้อตุนกำลังหมุน และส่วนต่าง 90 องศา ของหน้าเฟสจะทำให้เครื่องยนต์เคลื่อนที่สลับไปมาเป็นวัฏจักร



การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Configurations)

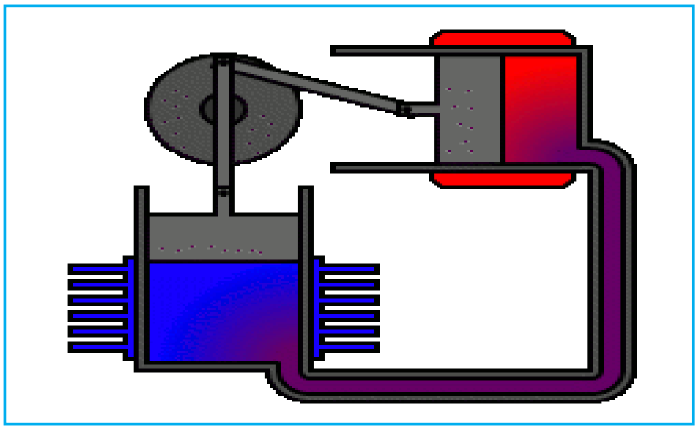
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก ๆ จำแนกตามลักษณะการเคลื่อนตัวของอากาศระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น

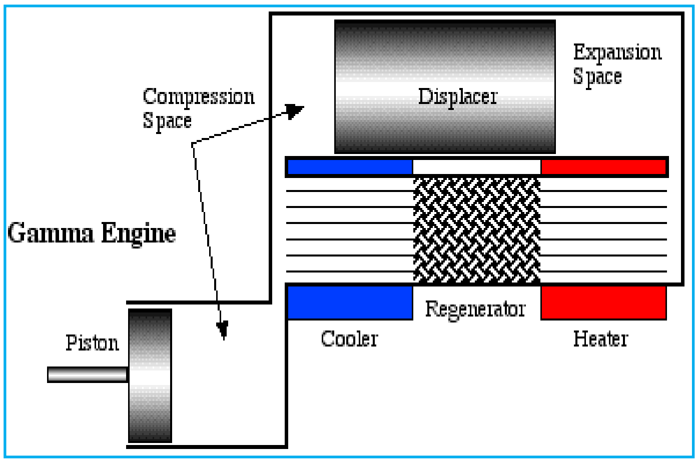
a) Alpha Configuration ใช้ลูกสูบกำลัง (Power piston) 2 ตัว โดยลูกสูบตัวแรกทำงานอยู่ในกระบอกสูบร้อนและลูกสูบตัวที่ 2 อยู่ในกระบอกสูบเย็น และก๊าซทำงานถูกขับเคลื่อนอยู่ระหว่างลูกสูบทั้งสอง ลักษณะการจัดวางแบบจะเป็นแบบ V-formation โดยจะมีการจัดวาง Regenerator อยู่ระหว่างช่องทางที่เชื่อมกันระหว่างลูกสูบทั้งสองลูก และก้านสูบจากลูกสูบทั้งสองติดที่ตำแหน่งเดียวกันบนเพลาข้อเหวี่ยง

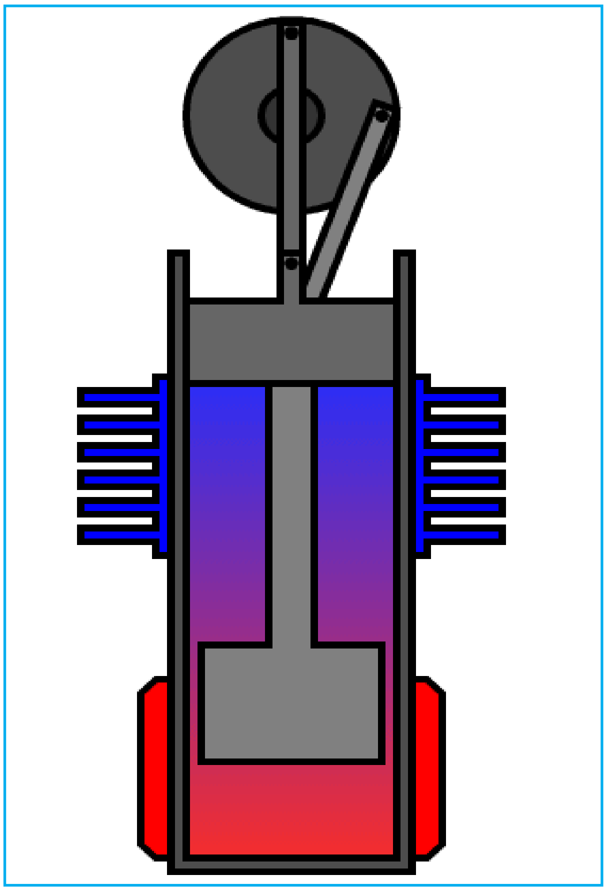
b) Beta Configuration ใช้กระบอกสูบเพียงหนึ่งอัน มีด้านร้อนและด้านเย็นที่ปลายทั้งสองข้างของกระบอกสูบ มีลูกสูบกำลัง (Power Piston) 1 ตัว และลูกสูบ Displacer 1 ตัว ทำหน้าที่ขับก๊าซทำงานระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น โดยปกติทำงานร่วมกับ Rhombic Drive เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของเฟส (Phase difference) ระหว่าง Displacer กับ Power Piston ทั้งคู่ต่อเข้ากับเพลาลูกเบี้ยวในลักษณะต่างเฟสกัน 90 องศา

c) Gamma Configuration มีกระบอกสูบ 2 อัน อันแรกจะเป็น Displacer ที่มีด้านร้อนและด้านเย็น และอีกหนึ่งกระบอกสูบจะมี Power Piston ทั้งสองต่อเข้าด้วยกันเป็น Single Space ที่มีความดันเท่ากันในกระบอกสูบทั้งสอง ลูกสูบจะอยู่ในแนวขนานและต่อเข้ากับเพลาข้อเหวี่ยงในลักษณะต่างเฟสกัน 90 องศา

การจัดวางของของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังมีอีกหลายลักษณะด้วยกันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะและความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น Rotary Stirling, Fluidyne Engine, Ringbom Engine และ Franchot Engine เป็นต้น







เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ Alpha (บน) Gamma (กลาง) และ Beta (ล่าง)

ทฤษฎีการทำงานวัฏจักรสเตอร์ลิง

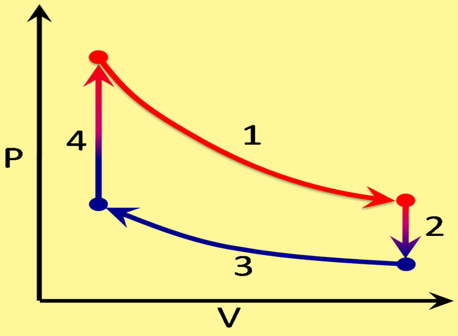
วัฏจักรสเตอร์ลิงอุดมคติประกอบด้วยกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ 4 กระบวนการดังนี้

กระบวนการ 1 : การขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal Expansion) เป็นการขยายตัวของก๊าซทำงานโดยอุณหภูมิ ของเครื่องตัวแลกเปลี่ยนความร้อนถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิคงที่ และก๊าซเกิดการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ และดูดซับความร้อนจากแหล่งความร้อน (Heat source)

กระบวนการ 2 : การเคลื่อนย้ายความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (Heat-Removal Isovolumetric Process) ก๊าซทำงานเคลื่อนที่ผ่าน Regenerator และเย็นตัวลงและถ่ายเทความร้อนให้กับ Regenarator เพื่อการใช้งานในวัฏจักรต่อไป

กระบวนการ 3 : การอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal Compression) ก๊าซเข้าสู่กระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่และถ่ายเทความร้อนให้กับ Cold Sink

กระบวนการ 4 : การเพิ่มความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (Heat-addition Isovolumetric Process) ก๊าซทำงานถูกส่งกลับเข้าสู่ Regenerator ซึ่งเป็นที่นำความร้อนส่วนใหญ่กลับคืนมาจากกระบวนการที่ 2 โดยความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้น

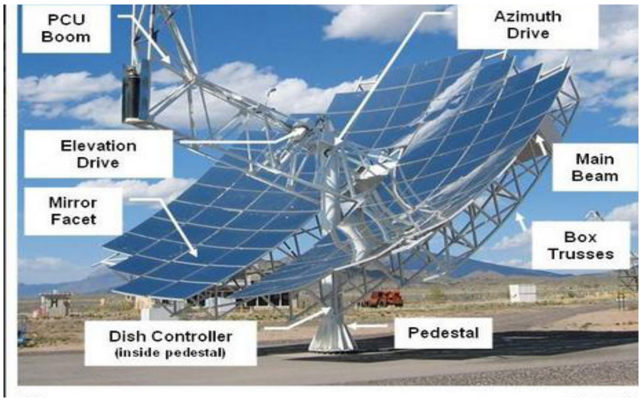


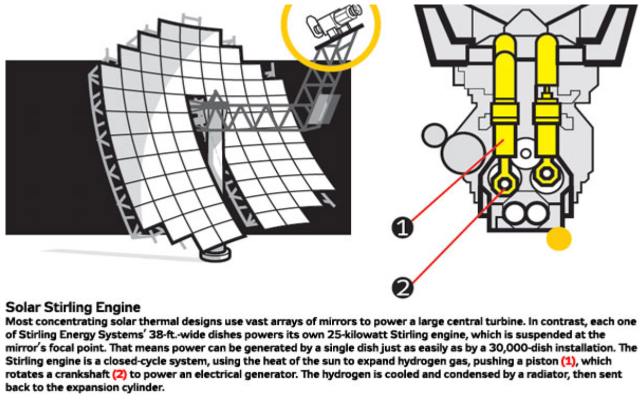
วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การเปรียบเทียบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

เมื่อเปรียบเทียบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ทั่วไปแล้ว เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีศักยภาพที่จะใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานทดแทนได้หลากหลายมากกว่า เครื่องยนต์ทำงานเงียบ มี Reliability สูง ต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า แต่ถ้าเปรียบเทียบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มี Power Rating เท่ากัน ปัจจุบันเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีราคาต้นทุนที่สูงกว่า มีขนาดและน้ำหนักมากกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์สเตอร์ลิงส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน ความต้องการการดูแลรักษาที่ต่ำ ทำให้ราคาด้านพลังงานโดยรวมมีค่าใกล้เคียง ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ก็มีค่าใกล้เคียงในกรณีที่เป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กในช่วง 15 % ถึง 30 % เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีความนิยมในการใช้งานในลักษณะ Micro – CHP มากกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในและการนำไปใช้งานด้านอื่นๆ เช่น การสูบน้ำ ด้านอวกาศ การผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะสามารถใช้พลังงานจากหลายรูปแบบที่อาจไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และ ชีวมวล เป็นต้น

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไม่สามารถแข่งขันด้านราคากับเครื่องยนต์ในยานพาหนะทางบก ณ ปัจจุบันได้เนื่องจากราคาต่อหนึ่งหน่วยกำลังที่สูง ค่าความหนาแน่นของกำลังที่ต่ำ และค่าใช้จ่ายด้านวัสดุสูง

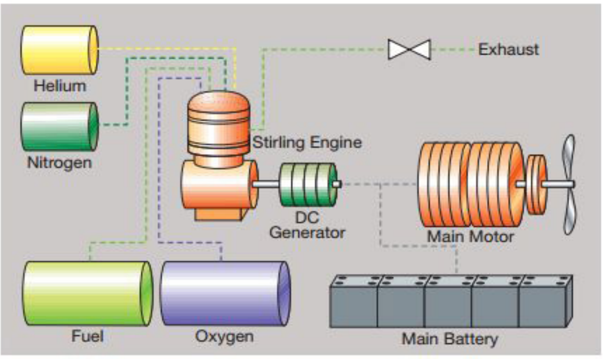




การนำระบบสเตอร์ลิงไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

- เครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานได้โดยอาศัยแหล่งความร้อนโดยตรง และความร้อนนั้นไม่จำเป็นต้องมีที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงแต่อย่างเดียวเท่านั้น แต่สามารถใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ แหล่งความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานนิวเคลียร์ และแหล่งความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้อีกด้วย
- การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีกระบวนการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ก๊าซเสียและมลพิษต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจึงมีน้อยกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งมีกระบวนการเผาไหม้แบบเป็นจังหวะ (Intermittent)
- เครื่องยนต์สเตอร์ลิงบางชนิดใช้ตลับลูกปืนหรือประเก็นด้านที่ติดกับด้านอุณหภูมิต่ำของเครื่องยนต์ จึงต้องการการหล่อลื่นน้อย ทำให้มีอายุการใช้งานยาวกว่าเครื่องยนต์ชนิดลูกสูบแบบเดียวกัน
- กลไกในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีความง่ายไม่ซับซ้อนเหมือนเครื่องยนต์ลูกสูบชนิดอื่น ๆ (ไม่จำเป็นต้องใช้วาล์ว ไอดี – ไอเสีย) ระบบเผาไหม้ก็ไม่ซับซ้อน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบง่าย ๆ สามารถประดิษฐ์ได้โดยใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไป
- เครื่องยนต์สเตอร์ลิงใช้ก๊าซทำงานที่สถานะเดียวตลอด ดังนั้นถ้าการออกแบบของระบบเป็นไปอย่างถูกต้องแล้ว ความเสี่ยงของอุบัติเหตุจากการระเบิดจะต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ไอน้ำที่ใช้สารทำงานแบบสองสถานะ ก๊าซ / ของเหลว หากวาล์วระบายแรงดันเกิดความผิดพลาดหรือมีค่าแรงดันสูงเกินค่าที่ออกแบบไว้อาจเกิดระเบิดขึ้นได้
- ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงบางชนิดที่มีค่าความดันการทำงานต่ำ อาจใช้กระบอกสูบที่ทำด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเบาได้
- สามารถสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้เดินเครื่องเงียบ โดยไม่ต้องอาศัยอากาศได้ สำหรับการใช้ในระบบ Air Independent Propulsion (AIP) ของเรือดำน้ำ



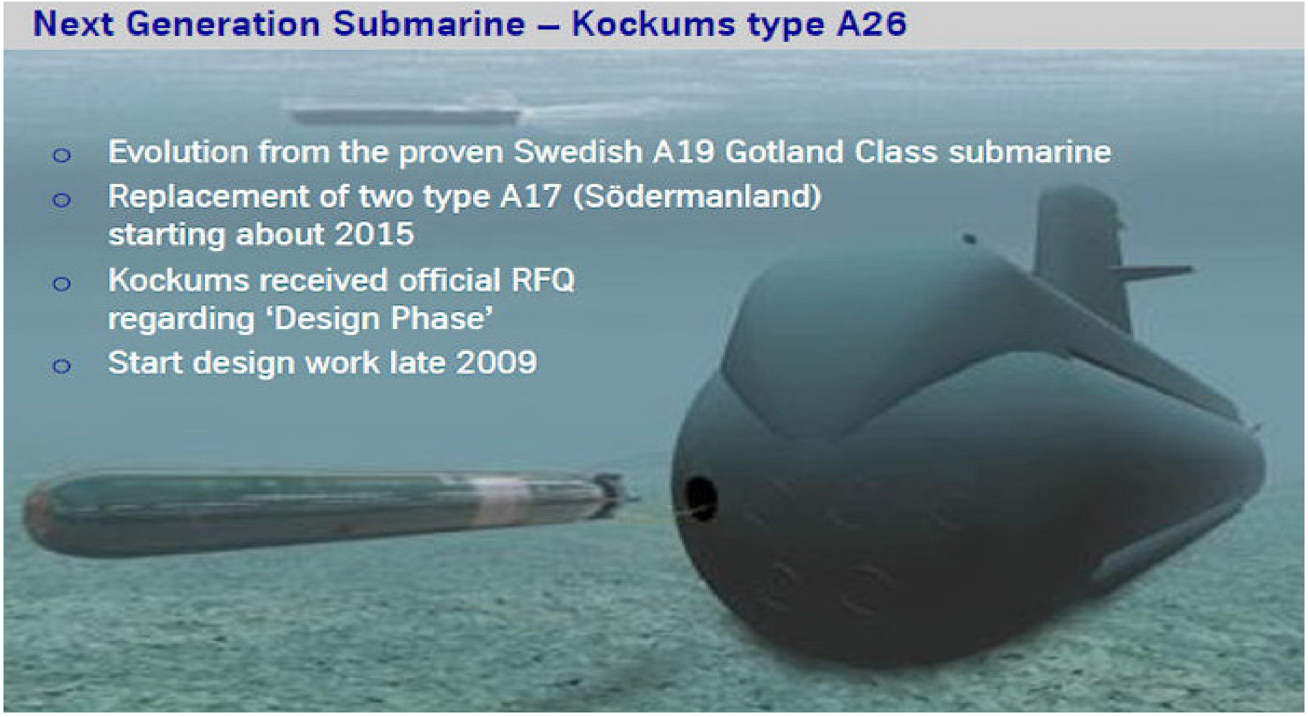
The principle of integrating the Stirling AIP system into the propulsion system of a submarine.

ระบบ Air Independent Propulsion (AIP) ทำงานด้วยเครื่องจักรสเตอร์ลิงติดตั้งในเรือดำน้ำชุด Sodermanland – Class ประเทศสวีเดน

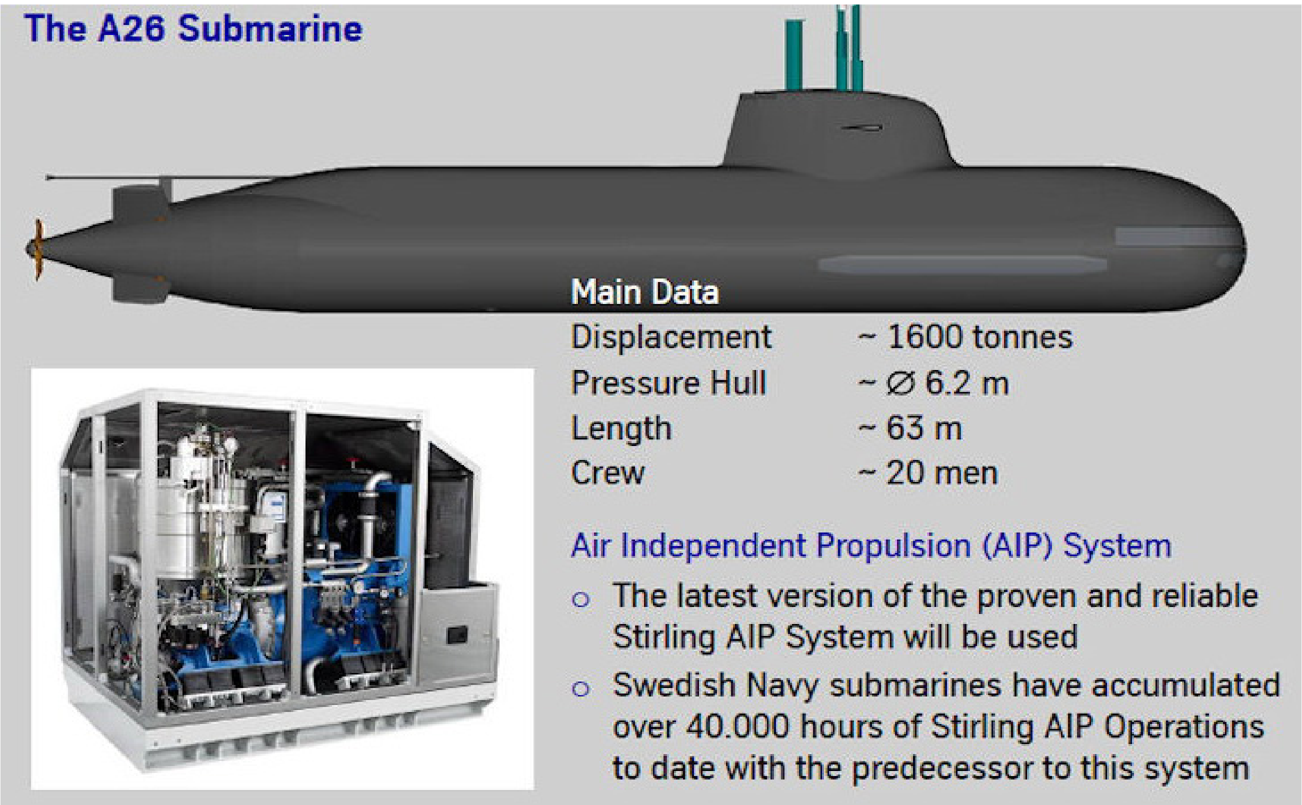
- เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถสตาร์ทได้ง่ายแม้เริ่มทำงานอย่างช้า ๆ หลังอุ่นเครื่อง แต่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพสูญเสียจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเหมาะสำหรับระบบความร้อนและกำลังแบบ Dual- Output อากาศหนาวเย็น ตรงกันข้ามกับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่แม้สตาร์ทเครื่องได้อย่างรวดเร็วในสภาพอากาศที่อบอุ่น แต่ไม่สามารถทำได้ในสภาพอากาศหนาวเย็น
- เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีความยืดหยุ่นมากสามารถนำมาใช้เป็น CHP (Combined Heat and Power) ในช่วงฤดูหนาวและเป็นเครื่องทำความเย็นในฤดูร้อนได้
- ความร้อนส่วนเกินสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างง่ายดาย (เมื่อเทียบกับความร้อนสูญเสียจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน) ทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเหมาะสำหรับระบบความร้อนและกำลังแบบ Dual - Output

- การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจำเป็นต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการป้อนความร้อน (Heat Input) และการคายความร้อน (Heat Output) และค่าความดันของก๊าซทำงานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าผลกำลังลัพธ์ของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนจะมีอุณหภูมิที่สูงมาก วัสดุที่เกี่ยวข้องต้องทนทานความร้อนสูง และมีความครากต่ำ (Low Creep Material) โดยปกติการใช้วัสดุดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ค่าวัสดุและค่าใช้จ่ายต่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิสูงราคาอาจสูงถึง 40 % ของค่าใช้จ่ายของเครื่องยนต์ทั้งหมด

- โดยปกติแล้ววัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์ส่วนมากต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิทำงานที่สูง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ สำหรับในเครื่องยนต์สันดาปภายนอกนั้น อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนมักมีขนาดเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิการขยายตัว ซึ่งแปลว่าความต้องการทางโลหะวิทยาของวัสดุสำหรับเครื่องทำความร้อนนั้นสูงมาก (สูงใกล้เคียงกับที่ใช้ในเครื่องยนต์ Gas Turbine) ซึ่งจะแตกต่างจากเครื่องยนต์แบบเบนซิน หรือดีเซลซึ่งอุณหภูมิของการขยายตัวสามารถสูงเกินกว่าข้อจำกัดทางโลหะวิทยาของวัสดุเครื่องยนต์ได้เพราะความร้อนไม่ได้ถูกถ่ายเทเข้าสู่โครงสร้างเครื่องยนต์ ดังนั้นวัสดุของเครื่องยนต์เบนซินหรือดีเซลจึงสามารถทำงานได้ใกล้กับอุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซทำงาน ในความเป็นจริงในทางปฏิบัติเราสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีประสิทธิภาพสูงได้ไม่ง่ายนักเพราะในการใช้งานจริงประสิทธิภาพของวัฏจักรสเตอร์ลิงจะมีค่าต่ำกว่าทางทฤษฎีมากและประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำลงอีก เมื่อทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิสูง แต่ทำงานได้ดีในสภาพอากาศเย็น เช่น บริเวณทางตอนเหนือของประเทศ



เรือดำน้ำ Kockums Type A26 สำหรับโครงการในอนาคตของประเทศสวีเดน



เรือดำน้ำ Kockums Type A26 ใช้ระบบ AIP แบบ Stirling Engine

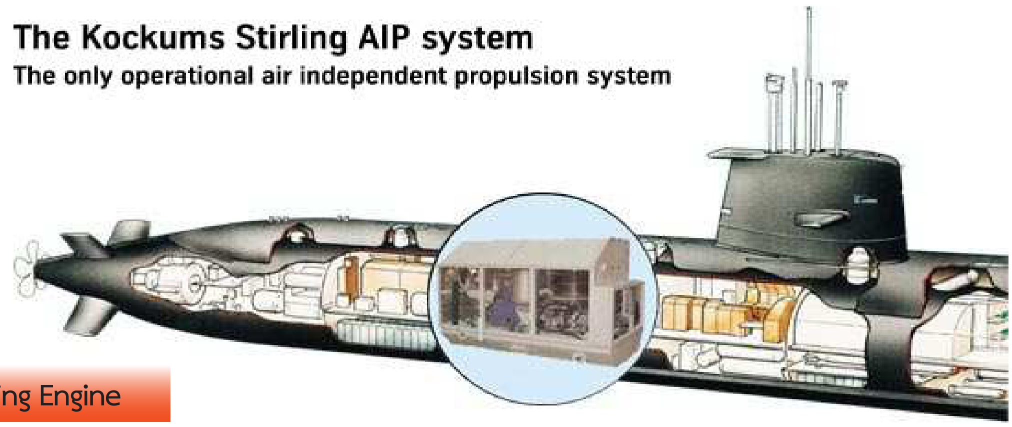
- การกำจัดความร้อนที่เหลือออกไปจะมีความซับซ้อนเป็นพิเศษเพราะอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะถูกทำให้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อทำให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงที่สุด จึงต้องเพิ่มเป็นการเพิ่มขนาดของ Radiator ซึ่งจะทำให้การติดตั้งเป็นไปได้ยากลำบาก รวมถึงค่าใช้จ่ายด้านวัสดุที่มีราคาสูง เหล่านี้เป็นสาเหตุที่จำกัดการนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาใช้ในระบบขับเคลื่อนในยานยนต์

- เครื่องยนต์สเตอร์ลิงไม่สามารถสตาร์ทได้ในทันที เพราะต้องอุ่นเครื่องก่อน (เป็นลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์สันดาปภายนอกทุกประเภท) เวลาที่ใช้ในการอุ่นเครื่องจะนานกว่าเครื่องยนต์ชนิดอื่น ๆ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเหมาะกับการใช้ในเครื่องที่มีความเร็วรอบคงที่

- ค่า Power Output ของเครื่องสเตอร์ลิงมีแนวโน้มที่จะมีค่าคงที่ แต่ถ้าต้องการปรับเปลี่ยนจะต้องออกแบบอย่างระมัดระวัง และมีการติดตั้งกลไกเพิ่มเติม โดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงของ Output ได้มาจากการเปลี่ยนแปลง Displacement ของเครื่องยนต์ (มักได้มาจากตำแหน่งการต่อเข้ากับเพลาข้อเหวี่ยง) หรือจากการเปลี่ยนปริมาณของก๊าซทำงาน หรือจากการเปลี่ยนลูกสูบ / มุมเฟสลูกสูบ Displacer หรือจากการ เปลี่ยนแปลงภาระเครื่องยนต์ คุณสมบัติดังกล่าวเหมาะสำหรับระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าแบบ Hybrid หรือ การผลิตไฟฟ้าแบบ "Base Load" ที่ต้องการค่า Power Output คงที่และต่อเนื่อง

สรุป

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่มีการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมานานแล้วและได้รับการวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจะไม่เป็นที่นิยมหรือมีการใช้อย่างแพร่หลายเช่นเดียวกับเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน ในยานพาหนะทางบก เพราะอาจมีความไม่เหมาะสมหลายประการในการใช้งาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เช่น ด้านวัสดุที่ใช้ต้องมีความทนทานความร้อนสูงมาก ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับกำลังเครื่องยนต์ที่ได้รับ แต่ก็มีการนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาใช้ในงานที่มีความพิเศษเฉพาะทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่างประเทศในงาน ด้านพลังงานทดแทน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้รับความสนใจอย่างมาก และนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เครื่องยนต์ชนิดนี้มีศักยภาพและมีความเหมาะสมที่จะใช้ในงานด้านพลังงานทดแทน (Renewable Energy) เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานจากความร้อนส่วนเกินจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น



ระบบ AIP แบบ Stirling Engine

ในทางทหารก็มีการใช้งานเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในเรือรบแล้วเช่นกันดังที่กล่าวมาข้างต้นกองทัพเรือสวีเดนเลือกระบบสเตอร์ลิงใช้ในงานระบบขับเคลื่อนเรือมากว่า 20 ปีแล้ว ใช้ในเรือดำน้ำแบบ Gotland Class ซึ่งการทำงานนั้น ขณะแล่นบนผิวน้ำเรือดำน้ำจะถูกขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อปฏิบัติการใต้น้ำจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนแบบสเตอร์ลิง (Stirling Driven Generator) โดยมีการใช้ออกซิเจนเหลวกับเชื้อเพลิงดีเซลภายใต้แรงดันการทำงานสูงเพื่อเกิดการเผาไหม้และให้กำลังกับเครื่องยนต์ และในอนาคตหากกองทัพเรือมีการพิจารณาจัดซื้อเรือดำน้ำอีกครั้ง ผู้เขียนหวังว่าบทความนี้น่าจะมีประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อย อย่างน้อยก็จะเป็นฐานข้อมูลให้กับผู้สนใจหรือผู้เกี่ยวข้องในการพิจารณาชนิดของระบบ AIP ที่จะใช้ในเรือดำน้ำได้อย่างรอบคอบและเป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นในด้านข้อดีและข้อเสียของระบบ AIP แบบ Stirling Engine เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ AIP ชนิดอื่น เพราะการตัดสินการเลือกระบบ AIP ใดก็แล้วแต่จะส่งผลต่อการใช้งาน การบำรุงรักษา การจัดหาอะไหล่ซ่อมทำในระยะยาวตลอดชั่วชีวิตการทำงานของเรือดำน้ำลำนั้น

เอกสารอ้างอิง

1. CMDR. D.Sc.,M.E.Tomasz Lus, “Submarine Hybride Propulsion Systems”, Technical Institute of Ships’Maintenance, The Polish Naval Academy, Gdynia.

2. Dr Carlo Kopp, “Air Independent Propulsion - now a necessity”, Defence Today. Kockums, “From a Submarine Point of View”.

3. https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine

4. http://me1065.wikidot.com/solar-stirling-engine

5. http://www.ministeam.com/acatalog/Exact_Stirling_Engines.html

6. http://auto.howstuffworks.com/stirling-engine.htm

การนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์
มาใช้ในอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ

นาวาเอก วุฒิชัย ทองแสงจันทร์
หัวหน้ากอง กองโรงงานไฟฟ้า อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด ปราศจากมลพิษและไม่ต้องแสวงหา บทความนี้กล่าวถึงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้า ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การให้ความสำคัญในเรื่องการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ในหน่วยราชการ โดยเฉพาะโครงการของอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ที่มีแนวคิดที่จะนำพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาผลิตไฟฟ้าเพื่อเสริมและทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงาน เป็นการสนองนโยบายประหยัดพลังงานของกองทัพเรือ อีกทั้งสนับสนุนให้เกิดการศึกษาของโครงการวิจัยการใช้พลังงานทดแทนการประหยัดพลังงาน และเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาพลังงานทดแทนของกองทัพเรือต่อไปในอนาคต

ปัจจุบันสังคมมนุษย์มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอย่างมากมายในทุก ๆ ด้าน ทำให้เริ่มเกิดการแย่งชิงพลังงานอันนำไปสู่วิกฤตพลังงานของโลกในอนาคต เป็นเหตุให้จำต้องมองหาพลังงานทางเลือกใหม่ ๆ มาทดแทน หรือใช้ร่วมกับของเดิม ประเทศต่าง ๆ จึงให้ความสำคัญในการนำพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีวันหมดไปจากโลกมาใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังสามารถนำมาเป็นธุรกิจพลังงานที่ทำเงินให้ได้อย่างมหาศาล ประเทศไทยได้คำนึงถึงการใช้พลังงานของประเทศที่มีทิศทางเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นต้องมองหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทน Renewable Energy Development Plan : REDP หรือ**แผนพัฒนาพลังงานทดแทน** เป็นแผนที่มุ่งพัฒนาสู่พลังงานหลักของประเทศ ลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันและสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศด้วยราคาที่ประชาชนยอมรับ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและของชุมชน รวมไปถึงลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย

กระทรวงพลังงานเล็งเห็นความจำเป็นในการจัดหาแหล่งพลังงานที่หลากหลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานหมุนเวียนในประเทศ จึงมีนโยบายจะพัฒนานำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยจะให้เป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศ ด้วยการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนในระยะเวลา 15 ปี ขึ้น (พ.ศ.2551-2565) มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนให้เป็นร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศภายในปี พ.ศ.2565 โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะสั้นครอบคลุม พ.ศ. 2551-2554 ระยะกลางครอบคลุม พ.ศ.2555-2559 และระยะยาวครอบคลุม พ.ศ.2560-2565[1]

พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นอีกแนวทางหนึ่งของโครงการวิจัยการใช้พลังงานทดแทนที่น่าสนใจและน่าศึกษาอย่างจริงจัง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด ปลอดภัย บริสุทธิ์ สามารถหาได้ง่ายทุกที่ มีให้ใช้งานถึงครัวเรือนโดยไม่ต้องไปแสวงหา เพียงอาศัยแค่มีชุดอุปกรณ์แผงโซลาเซลล์มาแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับให้เป็นพลังงานไฟฟ้าก็สามารถใช้งานได้ทันที ตลอดจนสามารถที่จะนำไปจัดเก็บสำรองไว้แล้วนำพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวที่ได้รับไปใช้งานในภายหลัง ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น หลอดไฟเพื่อให้แสงสว่างในยามค่ำคืน หรือทีวี พัดลม วิทยุ เครื่องเล่นดีวีดี เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น [2]

พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกของเราจะสะท้อนกลับสู่อวกาศร้อยละ 35 โดยบรรยากาศโลกจะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ประมาณร้อยละ 43 และจะแผ่คืนกลับสู่บรรยากาศประมาณร้อยละ 22 ของพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศไทยตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบมีค่าความเข้มของรังสีเฉลี่ยรายวันประมาณ 4.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือประมาณ 16.92 เมกะจูลต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมดโดยอาศัยอุปกรณ์แปรรูปพลังงานแบบต่าง ๆ ทั้งในรูปของความร้อนและการใช้เซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันนี้แผง**เซลล์แสงอาทิตย์**หรือโซลาเซลล์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กับระบบโซลาเซลล์มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงขึ้น อีกทั้งค่าใช้จ่ายถูกลงเมื่อเทียบกับเมื่อก่อนเป็นอันมาก ด้วยงบประมาณเริ่มต้นเพียงไม่กี่พันบาทก็สามารถมีระบบโซลาเซลล์ขนาดเล็กใช้งานได้แล้ว หรือจะประยุกต์ทำเป็นระบบโซลาเซลล์ขนาดใหญ่ใช้งานต่าง ๆ ตามที่ต้องการก็ได้ อีกทั้งอายุการใช้งานของแผงโซลาเซลล์ที่มีคุณภาพในปัจจุบันสามารถใช้งานประมาณ 20-30 ปี ในขณะที่จุดคุ้มค่าในการลงทุนเพียงแค่ปีกว่า ๆ เท่านั้นเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่ห่างไกลไฟฟ้า ซึ่งทุกคนสามารถมีไฟฟ้าใช้ในชีวิตประจำวันได้โดยไม่ต้องยุ่งยากลำบากอีกต่อไป ลงทุนสร้างวันนี้ก็คุ้มค่าวันนี้ได้เลย ทุกคนสามารถมีแสงสว่างในห้องน้ำ ห้องนอน ห้องนั่งเล่น ให้ลูกอ่านหนังสือ ดูหนัง ฟังเพลง สูบน้ำมาใช้ในบ้านโดยไม่ต้องหาบน้ำไกล ๆ อีกต่อไป อีกอย่างเป็นไฟฟ้าของเราเองไม่ต้องพึ่งพาใคร ไม่ต้องจ่ายค่าไฟรายเดือน ไม่ต้องจ่ายค่า FT เป็นพลังงานอิสระยืนหยัดพึ่งตนเอง อีกทั้งยังได้ช่วยชาติเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ลดการทำลายป่าต้นไม้ลำธาร ลดการบุกรุกป่าทำลายระบบนิเวศน์ในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างเขื่อน ตลอดจนช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่งด้วย

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาเซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือโซลาเซลล์ (Solar Cell) มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือ Photovoltaic (PV) ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า **Photovoltaic** โดยศัพท์คำนี้สามารถแยกออกเป็นคำสองคำ คือคำว่า Photo หมายถึง แสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อนำคำทั้งสองมารวมกันหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ.1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งในปี ค.ศ.1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ.1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า **เซลล์แสงอาทิตย์** คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide) แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

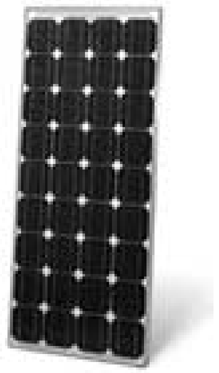
ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มิลลิเมตร) น้ำหนักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10%

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ เช่น แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%



Single Crystalline Silicon Solar Cell

Polycrystalline Silicon Solar Cell

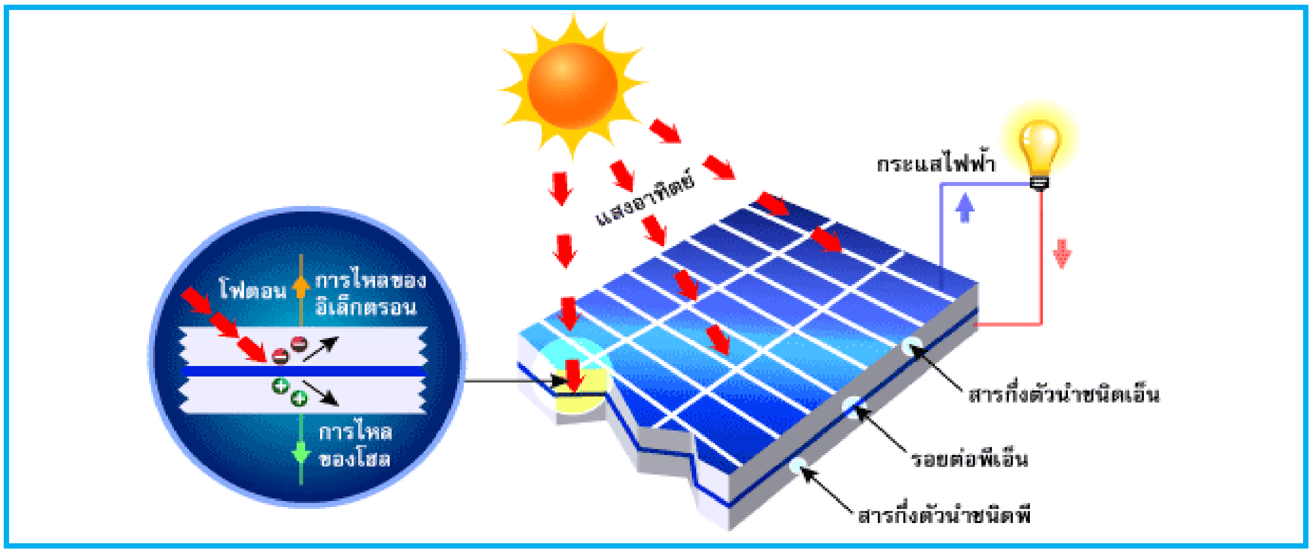
Amorphous Silicon Solar Cell

1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่าง ๆ

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอนจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มิลลิเมตร) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์



2 แสดงหลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น

ตัวอย่าง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มากนัก ดังนั้น เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากเพียงพอสำหรับใช้งาน จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์มาต่อกันเป็น เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules) ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่ว่าต้องการกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า

- การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน จะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น
- การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น

ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystal) หรือ Monocrystalline มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. นำซิลิคอนที่ถลุงได้มาหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 °C แล้วดึงผลึกออกจากของเหลวโดยลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จนได้แท่งผลึกซิลิคอนเป็นของแข็งแล้วนำมาตัดเป็นแว่น ๆ
2. นำผลึกซิลิคอนที่เป็นแว่น มาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่าง ๆ เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นภายในเตาแพร่ซึมที่มีอุณหภูมิประมาณ 900-1,000 °C แล้วนำไปทำชั้นต้านการสะท้อนแสงด้วยเตาออกซิเดชั่นที่มีอุณหภูมิสูง
3. ทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยการฉาบไอโลหะภายใต้สุญญากาศ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องนำไปทดสอบประสิทธิภาพด้วยแสงอาทิตย์เทียม และวัดหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline) มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. นำซิลิคอนที่ถลุงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อซิลิคอนแข็งตัวจะได้เป็นแท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกรวม แล้วนำมาตัดเป็นแว่น ๆ
2. จากนั้นนำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่าง ๆ และทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. ทำการแยกสลายก๊าซไซเลน (Silane Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่อง Plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) เป็นการผ่านก๊าซไซเลนเข้าไปในครอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ก๊าซแยกสลายเกิดเป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิคอนจะตกลงบนฐานหรือสแตนเลสสตีลที่วางอยู่ในครอบแก้ว เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร)

2. ขณะที่แยกสลายก๊าซไซเลน จะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบเรนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น สำหรับใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

3. การทำขั้วไฟฟ้า มักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึก ใช้เครื่องมือ คือ เตาปลูกชั้นผลึกจากสถานะของเหลว (Liquid Phase Epitaxy : LPE)

2. ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึกที่เป็นรอยต่อเอ็นพี ใช้เครื่องมือ คือ เครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy : MBE)

ในปัจจุบันนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน และชนิดมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอนกำลังได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุดเพราะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าแบบอื่น แต่เนื่องจากต้องใช้วัสดุซิลิคอนมากและมีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอนจึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น ๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิต จากคุณสมบัติและแนวโน้มด้านต้นทุนการผลิต คาดว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน น่าจะได้รับความนิยมสูงขึ้นในอนาคต แม้ว่าขณะนี้ยังไม่ได้รับความเชื่อถือเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อาจจำแนกเป็นผลที่ได้รับสองด้านหลัก ๆ คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในที่นี้เราจะเน้นในเรื่องการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถจำแนกได้ 3 ระบบ

1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) ระบบนี้ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนพลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงเวลากลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งเวลากลางวันและเวลากลางคืน

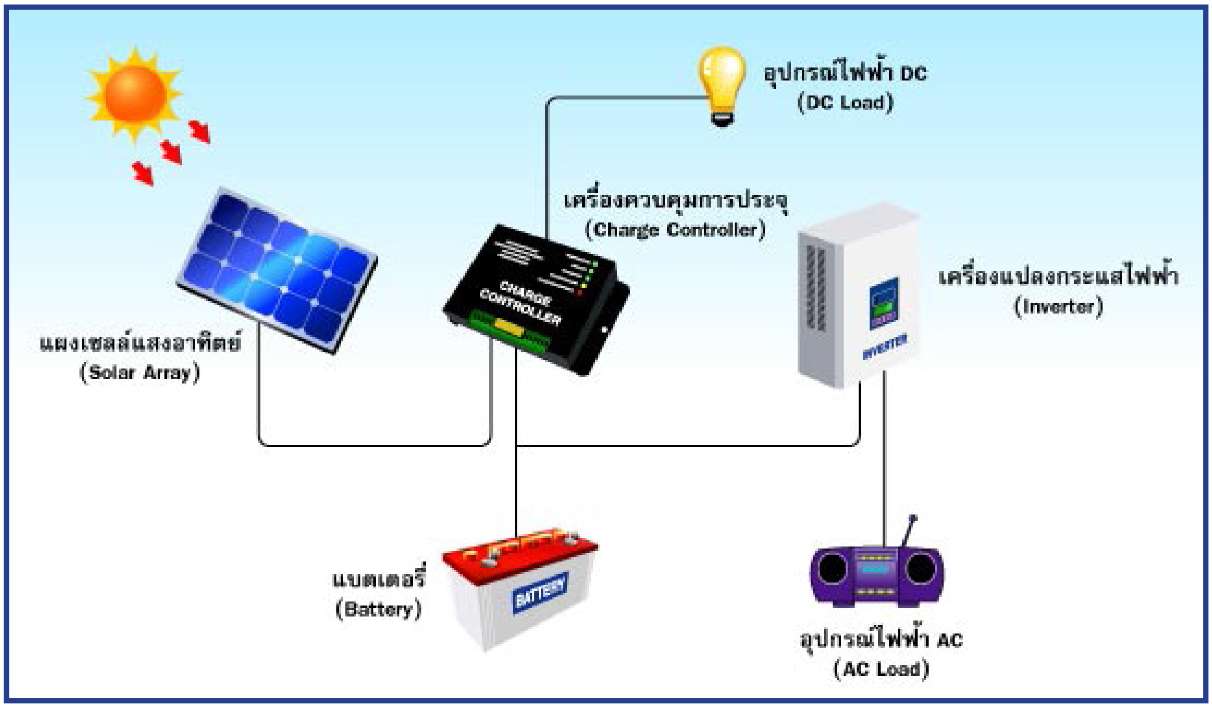
2. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) จะผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงาน แบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือในช่วงเวลากลางวันจะผลิตไฟฟ้า จ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรงโดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Invertor) และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้จาก มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนกระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ

3. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น

อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีก โดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์สำคัญ ๆ มีดังนี้



3 แสดงอุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน ก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วย รวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง

2. เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้นการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

3. แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม

4. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิด และ Modified Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีส่วนประกอบของมอเตอร์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เป็น Electronic Ballast

5. ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lighting Protection) ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่า หรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้อุปกรณ์นี้ จะใช้สำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ได้ให้ความสำคัญในเรื่องของการนำพลังงานทดแทนที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นการเสริมและทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงาน และพร้อมเป็นหน่วยงานแนวหน้าที่จะนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม เมื่อมาพิจารณาถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือนั้นประมาณ 70 % จะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าของฝ่ายผลิตอันเกิดจากภาระงานในระบบไฟฟ้ากำลัง แสงสว่าง และสิ่งอำนวยความสะดวกของการปฏิบัติงานของโรงงานต่าง ๆ และอีกร้อยละ 30 % เป็นการใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และสิ่งอำนวยควาสะดวกของหน่วยงานยามปกติ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการใช้ไฟฟ้าของอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดแนวคิดถึงการนำพลังงานทดแทนมาใช้งานในการผลิตไฟฟ้าเพื่อช่วยเสริมเข้าไปในระบบ ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจากการไฟฟ้านครหลวงลดลง

ตารางแสดงการจ่ายค่าไฟฟ้าของอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ

ปี พ.ศ.	จัดสรรตามกรอบ	เบิกจ่ายค่าไฟฟ้า(บาท)	ขอเพิ่ม
ปี 2553	23,490,000.00	31,047,583.00	7,557,583.00
ปี 2554	31,800,000.00	27,686,315.00	- 4,113,685.00
ปี 2555	30,000,000.00	35,930,546.00	5,930,546.00
ปี 2556	33,300,000.00	38,721,004.00	5,421,004.00
ปี 2557	33,300,000.00	36,835,813.00	3,535,813.00

อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ จึงได้พิจารณาถึงการนำพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นอยู่ โดยมีโครงการต่าง ๆ ดังนี้

1. **โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop)** เป็นการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้เองภายในหน่วยงาน ตามที่กองทัพเรือได้อนุมัติแผนปฏิบัติการจัดซื้อ/จ้างงานโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ในพื้นที่กองทัพเรือ เพื่อเสริมความมั่นคงด้านพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2558 โดยใช้งบประมาณจากเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สนพ.) โอนให้กับกองทัพเรือดำเนินการ โดยในพื้นที่อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือจะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดรวมประมาณ 500 กิโลวัตต์พีค (kWp) พื้นที่ติดตั้งใน 3 ตำบลที่ คือบนหลังคาของอาคารอเนกประสงค์ อาคารโรงงานกองสนับสนุน และอาคารกองโรงงานเครื่องกล ทั้งนี้มีกำหนดแล้วเสร็จในปี 2559

4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

2. โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินสำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์ภาคการเกษตร พ.ศ.2558 เป็นโครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย (การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือ กิจการไฟฟ้า สวัสดิการสัมปทานกองทัพเรือ) โดยกองทัพเรือได้อนุมัติหลักการโครงการพลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงของกองทัพเรือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อตอบสนองนโยบายของรัฐบาล โดยใช้พื้นที่ราชพัสดุในความครอบครองของกองทัพเรือเป็นสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า การดำเนินการเป็นในรูปแบบการสวัสดิการเชิงธุรกิจ มอบหมายให้บริษัทเอกชนเป็นผู้สนับสนุนโครงการพลังงานทดแทน ซึ่งบริษัทเอกชนที่ได้รับการคัดเลือกจากหน่วยราชการหรือกองทัพเรือเหล่านี้จะเป็นผู้ดำเนินงานในโครงการนี้ทั้งหมด ตั้งแต่การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ การสำรวจพื้นที่ติดตั้ง ตรวจสอบการใช้พลังงาน การออกแบบรายละเอียด การขอใบอนุญาตที่เกี่ยวข้อง การจัดหาแหล่งเงินทุน การจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์ การควบคุมและการติดตั้ง การฝึกอบรมให้บุคลากร รวมทั้งการดูแลบำรุงรักษา ปรับอุปกรณ์และเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพสูง ตลอดระยะเวลาโครงการ คือ 25 ปี โดยหน่วยงานราชการไม่ต้องลงทุนเอง และไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม [4]

ผู้สนับสนุนโครงการพลังงานทดแทนจะตอบแทนผลตอบแทนให้กับกองทัพเรือใน 3 รูปแบบ คือ ผลตอบแทนในรูปแบบส่วนแบ่งค่าเช่า ผลตอบแทนทางตรงที่บริษัทมอบให้หน่วยใช้ประโยชน์ที่ดิน และผลตอบแทนที่เกิดขึ้นจากการทำนิติกรรมต่างตอบแทนระหว่างกองทัพเรือกับบริษัทในรูปแบบของเงินอุดหนุน ซึ่งผลการตอบแทนที่เกิดขึ้นจะนำส่งเข้ากองทุนสวัสดิการกองทัพเรือ

กรมอู่ทหารเรือนั้น ได้รับคัดเลือกจากกองทัพเรือให้เข้าร่วมโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน สำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์การเกษตร พ.ศ.2558 โดยใช้พื้นที่ว่างเปล่าบริเวณอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ เนื้อที่ประมาณ 60 ไร่ เป็นพื้นที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีขีดความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อขายให้การไฟฟ้านครหลวงได้ 4 เมกะวัตต์

5 พื้นที่บริเวณอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ที่จะสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

6 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน (Solar Farm)

7 โคมไฟถนนแบบหลอดไฟแสงสว่าง LED

3. โครงการติดตั้งโคมไฟถนนแบบหลอดไฟแสงสว่าง LED ติดแผงโซลาเซลล์พร้อมแบตเตอรี่สำรอง ตามแนวรั้วทางด้านทิศเหนือ และทิศใต้ ของอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้เอง ลดภาระการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง เพื่อใช้เป็นไฟแสงสว่างทดแทนไฟส่องสว่างถนนเดิมที่เสื่อมสภาพตามระยะเวลาและสายป้อนขาดชำรุด

จะเห็นได้ว่าอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ให้ความสำคัญในเรื่องของการนำพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทดแทนที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นการเสริมและทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงาน ซึ่งจะเป็นการตอบสนองนโยบายประหยัดพลังงานของกองทัพเรือ อีกทั้งสนับสนุนให้เกิดการศึกษาของโครงการวิจัยการใช้พลังงานทดแทน การประหยัดพลังงาน ทั้งในหน่วยเรือและหน่วยบก และเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาพลังงานทดแทนของกองทัพเรือต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] นาวาเอก ปิยะ ปฐมบูรณ์ การศึกษาการใช้พลังงานหมุนเวียนของกองทัพเรือ กรณีศึกษาอู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า เอกสารประจำภาควิทยาลัยการทัพเรือ รุ่นที่ 47 ประจำปีการศึกษา 2557

[2] http://www.premiumsolarcell.com/

[3] http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

[4] http://www.1thesco.com

ถึงเวลาแล้วรึยัง....ราชนาวีไทยต้องมี

เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ

(SHIP ENGINE ROOM SIMULATOR : ERS)

นาวาเอก สมศักดิ์ คงโชติ

ว่าที่ เรือตรีหญิง สุธาสิน เสนานิกรม

กองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

ภารกิจหลักของกองทัพเรือประการหนึ่ง คือ "การเดินเรือ" ความรู้ความเข้าใจ ทักษะและศักยภาพของบุคลากรบนเรือจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับบุคลากรบนเรือ ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาขีดความสามารถของผู้ปฏิบัติงานบนเรือ ทางกองทัพเรือจึงควรนำเอาเครื่องมือจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อกองทัพเรือ บทความนี้แสดงให้เห็นถึงบทบาท ความสำคัญและประโยชน์ของเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ ซึ่งผู้อ่านจะมีความรู้ความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือมากขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ เครื่องมือจำลองสถานการณ์ ประโยชน์

ABSTRACT

The main mission of Royal Thai Navy is "Sailing". Knowledge, skills and ability are very important for all crews. In order to improve all capacities, Royal Thai Navy should be used simulator for all engines controlling is called that ship engine room simulator (ERS). This article is shown that the roles, importance and benefits of ship engine room simulator (ERS). Readers will be understood and realized in importance of ship engine room simulator, increasingly.

Keyword: Ship Engine Room Simulator, Simulation, Benefit

บทนำ

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการใช้เรือและการเดินเรือของกองทัพเรือ คือ ความรู้ความเข้าใจ ทักษะ ศักยภาพ และความชำนาญของบุคลากรบนเรือ ดังนั้นเพื่อให้บุคลากรเหล่านี้มีการพัฒนาขีดความสามารถ ทักษะ ศักยภาพ ความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานบนเรือ และมีความรู้ ความเข้าใจในการปฏิบัติงานอย่างสูงสุด นอกเหนือจากเครื่องฝึกจำลองการเดินเรือแล้ว จึงมีการนำเอาเครื่องมือจำลองสถานการณ์ (Simulation) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการควบคุมเครื่องจักรต่างๆ มาใช้ร่วมกัน

ปัจจุบันกองทัพเรือมีการฝึกการใช้เครื่องจักรในสถานการณ์จริงเท่านั้น ยังไม่มีเครื่องมือจำลองสถานการณ์ (Simulation) มาประยุกต์ใช้ ทำให้ไม่สามารถฝึกการควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ ณ สภาวะผิดปกติและสภาวะฉุกเฉินได้ ดังนั้น กองทัพเรือจึงควรนำเอาเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือมาประยุกต์ร่วมกับ การฝึกการควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มความรู้ความเข้าใจ ทักษะ และศักยภาพในการควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ ณ ทุกสภาวะสูงสุด

แสดงตัวอย่างเครื่องมือจำลองสถานการณ์ (Simulation)

แสดงตัวอย่างเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ (ERS)

บทความนี้ แสดงข้อมูลต่าง ๆ เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับ “เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ” (SHIP ENGINE ROOM SIMULATOR : ERS) เพื่อให้ผู้อ่านมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือมากขึ้น

“ถึงเวลาแล้วรึยัง... กองทัพเรือต้องมีเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ”

ปัจจุบันกองทัพเรือมีการฝึกอบรมการเดินเรือและการใช้เครื่องจักรและควบคุมเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามมีเพียงการฝึกการเดินเรือเท่านั้นที่มีการนำเอาเครื่องจำลองการเดินเรือ (Bridge Simulator) เข้ามาใช้ปฏิบัติจริง [1] แต่การฝึกอบรมการใช้และควบคุมเครื่องจักรนั้นเป็นเพียงการเรียนรู้และเข้าใจเน้นใช้ทางด้านทฤษฎี ส่วนในทางปฏิบัตินั้นการฝึกควบคุมเครื่องจักรต้องใช้การฝึกในห้องควบคุมเครื่องจักรของเรือจริงในขณะที่เรือออกปฏิบัติงาน อีกทั้งการจัดเรือหรือการฝึกก็เป็นเพียงการฝึกการใช้และตรวจสอบทั่วไปเท่านั้น ไม่สามารถฝึกการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าของการขัดข้องของเครื่องจักรที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เช่น กำลังดันน้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่าเกณฑ์ ความร้อนของเครื่องยนต์สูงกว่าเกณฑ์ อุณหภูมิแก๊สเสียบางส่วนสูงเกินเกณฑ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีโอกาสน้อยที่ผู้เข้ารับการฝึกจะมีโอกาสได้พบปัญหาและฝึกการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ซึ่งจะทำให้กำลังพลขาดประสบการณ์และทักษะการแก้ปัญหาของเครื่องจักรผิดปกติจากสถานการณ์จริง มีเพียงความรู้จากการอ่านคู่มือการแก้ปัญหา (Trouble Shooting) โดยไม่ได้มีโอกาสฝึกการแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นการมีเครื่องฝึกจำลองสถานการณ์ใช้และควบคุมเครื่องจักรจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่จะเพิ่มทักษะ ศักยภาพในการฝึกการแก้ไขปัญหาของเครื่องจักรเหล่านี้ได้ ส่งผลให้กำลังพลมีความมั่นใจในการควบคุมและใช้เครื่องจักรของเรือ อีกทั้งยังจะทำให้ลดความผิดพลาดในการแก้ไขปัญหาความผิดปกติของการทำงานของเครื่องจักร ลดการชำรุดเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้

"ถึงเวลาแล้วรึยัง ที่ราชนาวีไทยควรมีการนำเอาเครื่องจำลองการฝึกฯ ดังกล่าวมาใช้ปฏิบัติราชการเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อหน่วยงานต่าง ๆ ของกองทัพเรือ"

เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ (SHIP ENGINE ROOM SIMULATOR : ERS) คืออะไร

เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ (SHIP ENGINE ROOM SIMULATOR : ERS) คือ เครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับการฝึกการควบคุมระบบเครื่องจักรต่าง ๆ ภายในห้องเครื่องเรือ โดยสามารถจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ภายในห้องควบคุมเครื่องจักรตัวเรือที่สภาวะเสมือนจริง

ประเภทของเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ [2]

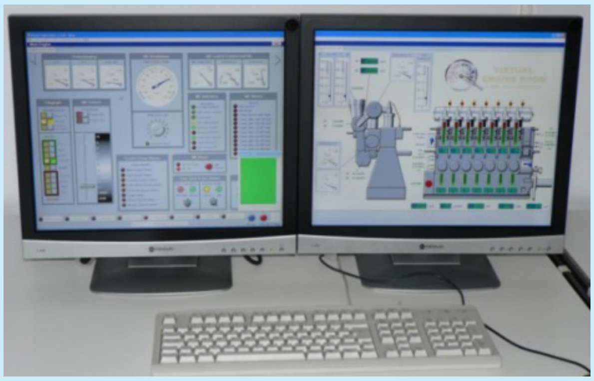
เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ ตัวโปรแกรม (SOFTWARE) ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ ภายในตัวเรือ เช่น ระบบการขับเคลื่อน ระบบไฟฟ้า และระบบสนับสนุน เป็นต้น

โดยทั่วไป เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. Personnel Computer PC-Stand alone เครื่องจำลองการฝึกฯ มีลักษณะของการใช้โปรแกรมจำลองการฝึกสภาพการปฏิบัติการเสมือนจริง ดังนั้นส่วนประกอบหลักของเครื่องจำลองการฝึกฯ ประเภทนี้จึงมีเพียงคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ชุดเท่านั้น

2. Personnel Computer with Control Console เครื่องจำลองการฝึกฯ ประเภทนี้ มีลักษณะของการใช้โปรแกรมจำลอง การฝึกสภาพการปฏิบัติการเสมือนจริงร่วมกับชุดควบคุม ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าประเภทแรก

3. Full Mission Engine Room Simulator เครื่องจำลองการฝึกฯ ประเภทนี้ มีลักษณะการใช้งาน คือ มีการใช้โปรแกรมจำลองการฝึกสภาพการปฏิบัติการเสมือนจริงร่วมกับชุดควบคุม และเครื่องจักรขนาดใหญ่ทั้งเป็นลักษณะของจริง และลักษณะเป็นภาพ 3 มิติเสมือนจริง



แสดงเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือแบบ Personnel Computer PC-Stand alone

แสดงเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือแบบ Personnel Computer with Control Console

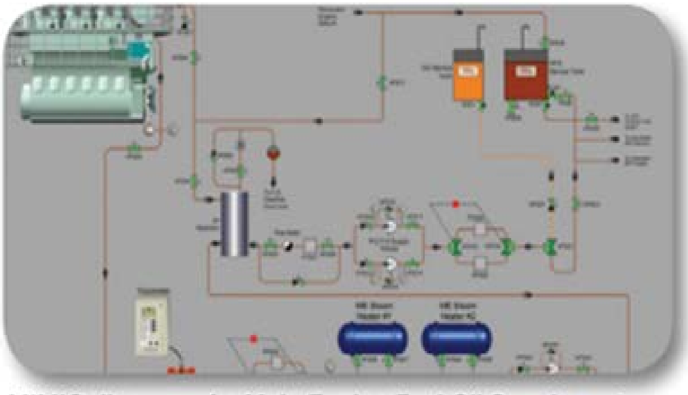
แสดงตัวอย่างเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ แบบ Full Mission Engine Room Simulator

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้เครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ [2,3,4]

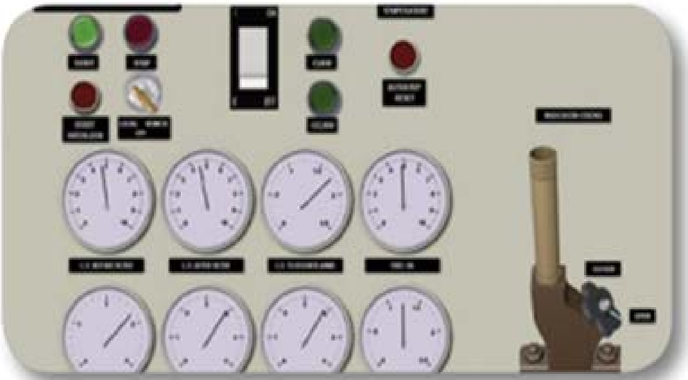
- มีความรู้ ความเข้าใจในการควบคุมระบบเครื่องจักรภายในตัวเรือเพิ่มมากขึ้น
- สามารถค้นหาสาเหตุ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบเครื่องจักรภายในตัวเรือได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ
- สามารถจำลองสถานการณ์เสมือนจริงที่เกิดขึ้นกับระบบเครื่องจักรภายในตัวเรือได้ทั้งในสภาวะฉุกเฉินและปกติ
- สามารถจำลองสถานการณ์เสมือนจริงในขณะเครื่องยนต์หยุดทำงานได้
- มีความเป็นผู้นำและสามารถทำงานเป็นทีมได้

สรุป

จากการศึกษาเทคโนโลยีต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องจำลองการฝึกห้องเครื่องเรือ (SHIP ENGINE ROOM SIMULATOR : ERS) ซึ่งกล่าวถึงข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งประโยชน์ของการฝึกฯ แสดงให้เห็นว่า เครื่องจำลองการฝึกฯ จัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีความจำเป็นเป็นอย่างมากสำหรับกองทัพเรือ ดังนั้นจึงควรมีเครื่องจำลองการฝึกฯ ดังกล่าวไว้ใช้ เพื่อให้ก่อเกิดประโยชน์สูงสุดต่อกองทัพเรือ



MIMIC diagram of a Main Engine Fuel Oil Supply system.



Interactive virtual local controls and instrumentation for a Medium Speed Marine Engine.

A typical classroom arrangement.

เอกสารอ้างอิง

1. http://www.rtna.ac.th/departments/Navigation/data/sim/
2. http://www.mmtc.ac.th/24/11_ShipEngineRoomSimulator.pdf
3. www.warsashacademy.co.uk
4. http://www.pcmaritime.com/maritime-training/simulators/full-mission-engine-room-simulators.html

บทบาทของก๊าซธรรมชาติต่อกรมอู่ทหารเรือ

นาวาเอก สมศักดิ์ คงโชติ
ว่าที่เรือตรีหญิง สุธาสิน เสนานิกรม
กองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่พลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ได้จากซากฟอสซิล (Fossil Fuel) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ก๊าซธรรมชาติ จึงถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง กรมอู่ทหารเรือได้เห็นถึงความสำคัญและบทบาทของก๊าซธรรมชาติด้วยเช่นกัน จึงมีการสนับสนุนการทดลองใช้ก๊าซธรรมชาติร่วมกับการใช้น้ำมันกับพาหนะต่างๆ ของกรมอู่ทหารเรือมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ก๊าซธรรมชาติที่นำมาใช้ประโยชน์ มีจุดอ่อนเรื่องปริมาณบรรจุเช่นกัน กล่าวคือ ต้องใช้ปริมาตรของถังบรรจุก๊าซธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักของพาหนะ ดังนั้นเพื่อแก้ไขจุดอ่อนดังกล่าว จึงควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas; LNG) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ก๊าซธรรมชาติกับพาหนะต่าง ๆ ภายในกรมอู่ทหารเรือ บทความนี้จึงขอนำเสนอประโยชน์ของการพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas; LNG) พร้อมทั้งวิธีการคำนวณหาน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติเบื้องต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบ ในการสนับสนุนให้กรมอู่ทหารเรือจัดทำโครงการที่มีการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวร่วมกับการใช้น้ำมันกับพาหนะต่าง ๆ ของกรมอู่ทหารเรือหรือหน่วยงานอื่น ๆ ภายในกองทัพเรือ อาทิเช่น รถโดยสารของกรมขนส่งทหารเรือ หรือเรือทางธุรการต่าง ๆ ที่ให้บริการแก่บุคลากรของกองทัพเรือ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อกรมอู่ทหารเรือและกองทัพเรือ

คำสำคัญ: กรมอู่ทหารเรือ ก๊าซธรรมชาติเหลว แอลเอ็นจี ประโยชน์ น้ำหนัก การคำนวณ

ABSTRACT

Nowadays, energy's demand for the fuel usage is increasing, petroleum-derived fossil fuel energy (Fossil Fuel) is declining steadily. Natural gas has been used as an alternative energy more steadily. The Naval dockyard recognizes the importance and role of natural gas and support the use of liquefied natural gas and diesel oil. However, natural gas is utilized. Because the volume of natural gas tanks are large and affect to the weight of the vehicle. Thus, liquefied natural gas (Liquefied Natural Gas; LNG) used as a fuel instead for natural gas vehicles.

This article represents benefit of development's technology of liquefied natural gas and calculation method of natural gas's weight and support for the project with the use of liquefied natural gas and oil within vehicles. In order to ensure maximum benefit to Royal Thai Navy.

Keyword: Liquefied Natural Gas, LNG, Benefit, Weight, calculation

บทนำ

ปัจจุบัน ปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงทั่วโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่พลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีอยู่อย่างจำกัดและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับราคาน้ำมันมีความผันผวนและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น หน่วยงานต่างๆ จากทั่วโลกดำเนินการค้นหาพลังงานอื่น ๆ มาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดย "ก๊าซธรรมชาติ (NATURAL GAS)" จัดเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญและเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียม

ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซธรรมชาติ (NATURAL GAS) มีประโยชน์หลายประการ อาทิเช่น เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ลดภาวะเรือนกระจก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้โดยตรง มีความปลอดภัยสูงในการใช้งาน ประกอบกับราคาของก๊าซธรรมชาติแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับราคาของเชื้อเพลงปิโตรเลียมอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ ก๊าซธรรมชาติ (NATURAL GAS) จึงเป็นพลังงานทดแทนที่มีความสำคัญและมีบทบาทเป็นอย่างมาก

สำหรับประเทศไทยนั้น รัฐบาลไทยมีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนให้หน่วยงานของรัฐและเอกชน รวมทั้งประชาชนภายในประเทศ หันมาใช้ก๊าซธรรมชาติทดแทนการใช้น้ำมันสำหรับพาหนะประเภทต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารประจำทาง เป็นต้น สำหรับหน่วยงานกรมอู่ทหารเรือนั้น เล็งเห็นถึงความสำคัญของก๊าซธรรมชาติเช่นกัน จึงมีนโยบายสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานทดแทน โดยมีการจัดทำโครงการต่างๆ เพื่อสนับสนุนการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักร่วมกับการใช้น้ำมันดีเซล อาทิ เช่น โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้ก๊าซธรรมชาติกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในยานพาหนะและยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ของกองทัพเรือ[1] ผลการทดสอบประสบความสำเร็จในระดับหนึ่งและสามารถนำประยุกต์ใช้ได้จริง รวมทั้งการจัดสัมมนาทางวิชาการที่มีการแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านก๊าซธรรมชาติในโอกาสต่าง ๆ [2] เป็นต้น

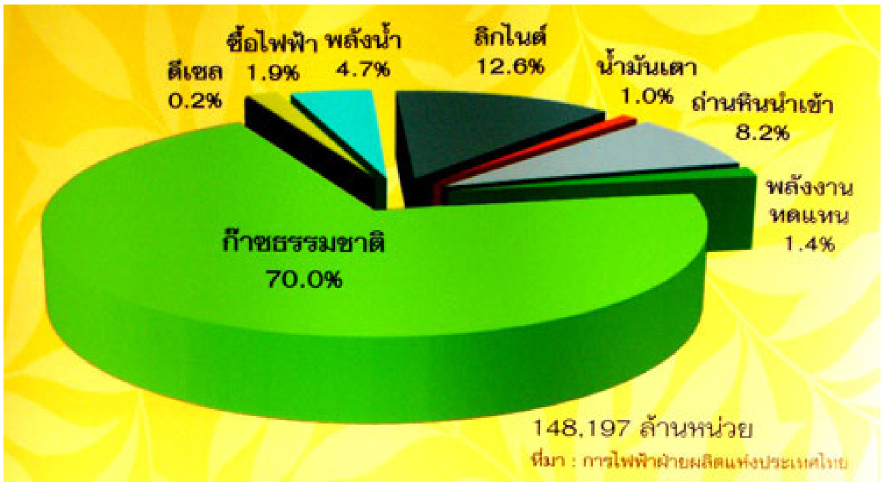
อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติที่บรรจุลงในถังบรรจุก๊าซที่ติดตั้งอยู่กับพาหนะประเภทต่าง ๆ นั้น มีปัจจัยที่สำคัญ ในเรื่องความดันที่ใช้บรรจุก๊าซที่มีความดันสูงมากถึง 200 บาร์ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) หรือประมาณ 2,940 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (เพื่อให้ผู้อ่านเห็นภาพ สามารถเทียบกับการเติมความดันในยางรถยนต์นั้นเราจะใช้ความดันประมาณ 2 บาร์ หรือประมาณ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะเห็นได้ว่า มีความดันสูงกว่า การเติมยางรถยนต์ ถึง 100 เท่า) เพราะต้องการปริมาตรที่ต้องบรรจุมากที่สุด ทำให้ต้องใช้ถังบรรจุก๊าซที่มีความแข็งแรงสูงมีความหนามาก และน้ำหนักของถังมากมีผลกระทบต่อน้ำหนักของตัวถังของพาหนะและกำลังในการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามปริมาตรการบรรจุก๊าซนั้น สามารถบรรจุได้เพียงเป็นพลังงานให้รถยนต์ทั่วไปขับเคลื่อนไปเพียงร้อยกว่ากิโลเมตรต่อการบรรจุก๊าซในถังหนึ่งถังแต่ละครั้งเท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ ถ้าสามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติลงในถังที่มีขนาดไม่ใหญ่และไม่หนักแต่สามารถบรรจุก๊าซได้มากขึ้น ก็จะทำให้สามารถขับเคลื่อนยานพาหนะไปได้ไกลมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการพัฒนาของก๊าซธรรมชาติไปเป็นก๊าซธรรมชาติเหลว จึงสามารถแก้ไขจุดอ่อนเรื่องปริมาตรบรรจุของก๊าซธรรมชาตินี้ได้

หลายๆ ท่าน เคยสงสัยมั้ยว่า ก๊าซธรรมชาติที่เราเติมลงในถังบรรจุก๊าซซึ่งติดตั้งอยู่กับพาหนะประเภทต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกหน่วยงานในแต่ละครั้งนั้น มีคุณสมบัติและมีน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติเป็นเท่าไหร่ ?

ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) คืออะไร

ก๊าซธรรมชาติจัดเป็นก๊าซชีวภาพหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย อะตอมของไฮโดรเจน (H) กับ อะตอมของคาร์บอน (C) รวมตัวในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (โดยมีสูตรทางเคมีเป็น C_nH_{2n+2}) เช่น มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เพนเทน เป็นต้น ซึ่งมีองค์ประกอบของมีเทน (Methane) เป็น ส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 70 ขึ้นไป [4,5,6] รวมกับสารประกอบประเภทอื่น ๆ อีก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ฮีเลียม ไนโตรเจนและไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ประเภทจุลินทรีย์บริเวณชั้นหิน ดิน และในทะเล สะสมเป็นเวลานานหลายร้อยล้านปี จนเกิดการแปรสภาพเป็นก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน เนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลกและสะสมอยู่ในชั้นดิน [7,8]



1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนประเภทต่างๆ ในปัจจุบัน

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติ มีลักษณะอย่างไร

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติ คือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปราศจากสารพิษ มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.8 มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศไม่มีเขม่าเมื่อมีการติดไฟ เนื่องจากเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และปริมาณการปล่อยมลสารจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบมลสารจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ NG, LPG, Gasoline ที่ความเร็ว 300รอบต่อนาที (ศึกษาโดย Research and Development Institute Saibu Gas Co., Ltd.) [7,9]

ชนิดมลสาร	ก๊าซธรรมชาติ (NG)	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	เบนซิน (Gasoline)
คาร์บอนมอนอกไซด์ (ร้อยละโดยปริมาตร)	0.04	0.04	0.08
ไฮโดรคาร์บอน (ส่วนในล้านส่วน)	1,700	1,600	2,200
ไนโตรเจนออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	300	900	1,400
คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละโดยปริมาตร)	8.5	11.7	14.5

โดยทั่วไป ก๊าซธรรมชาติที่ได้จากแต่ละแหล่งผลิต อาจมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแหล่งธรรมชาติเป็นสำคัญ [3,7] ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่พบในแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย [10]

คุณสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่พบในแหล่งต่างๆของประเทศไทย					
ส่วนประกอบ	ตะวันออก	ตะวันตก	ขนอม	น้ำพอง	สิริกิติ์
CH4	74.1-77.5%	72.4%	62.6-69.6%	95.5%	84.7-85.4%
C2H2	5.4-6.0%	3.5%	8.3-9.0%	0.6%	11.2-11.4%
C3	1.5-2.4%	1.06%	0.72-5.1%	0.07%	1.34-1.81%
C4	0.59-0.9%	0.47%	0.02-0.38%	0.06%	0.24-0.48%
C5	0.1-0.15%	0.1%	0.05-0.19%	-	0.07-0.14%
C6	0.02-0.04%	0.7%	0.01-0.3%	0.02%	0.03-0.065%
N2	2.0-2.2%	16%	0.7-0.76%	1.8%	0.5-0.6%
CO_2	12.7-14.4%	6.2-6.4%	20.3-21.9%	2%	1%
ดัชนีวอบบี (เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร)	41.9-44.0	38.9-39.3	34.6-42.14	48.70%	52.9-53.1
กำมะถัน (PPM)	<16	10-19%	<16	<500	-
มีเทน	75-82	86%	64-81	106%	75-78
A/F5	11.6-12.0	11.1%	10.3%	15.8%	15.8%

ที่มา : เอกสารการวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติของประเทศไทยที่ใช้ในรถยนต์ โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติ

- เป็นเชื้อเพลิงสะอาดและสามารถใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากเกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์
- ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก
- มีความปลอดภัยในการใช้งานสูง
- มีราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมประเภทอื่น ๆ เช่น น้ำมัน และก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น

จากข้อมูลต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่ค้นพบในแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ ได้แก่ น้ำหนักของก๊าซธรรมชาติด้วยเช่นกัน

น้ำหนักของก๊าซธรรมชาติ (Natural gas's Weight)

น้ำหนักของก๊าซธรรมชาติ มีวิธีการคำนวณอย่างไร ? น้ำหนักของก๊าซธรรมชาติที่เติมลงในถังบรรจุซึ่งติดตั้งอยู่กับรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ในแต่ละครั้งนั้น สามารถหาค่าได้ (ดังแสดงในรูปที่ 2) โดยมีขั้นตอนการคำนวณต่างๆ ตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

Calculation of Gas Weight

Example

GAS	Kg/m³@20 °C (1)	PTT (1)	Density	Tc (2) Critical Temperature	Y1Tc	Pc (3) Critical Pressure	Y1Pc	Wt Mol (4)	Y1Mw
Composition	100%	% Mol	Kg/m³@20 °C	°R		PSI			
N2	1.165	2.078	0.0242087	227	4.7171	492	10.2238	28.02	0.5822556
CO2	1.842	6.257	0.1152539		0.0000	362	22.6503	44.01	2.7537057
C1	0.668	85.758	0.5729	343	294.15	668	572.86	16.043	13.7581559
C2	1.624	3.871	0.062865	550	21.2905	710	27.4841	30.07	1.1640097
C3	1.882	1.282	0.0241272	666	8.5381	616	7.8971	44.09	0.5652338
iC4	2.489	0.283	0.0070439	735	2.0801	529	1.4971	58.1	0.1644230
nC4	2.489	0.237	0.0058989	765	1.8131	551	1.3059	58.1	0.1376970
iC5 (pentane)	616	0.117	0.7207	830	0.9711	483	0.5651	72.15	0.0844155
nC5 (pentane)	621	0.063	0.3912	846	0.5330	489	0.3081	72.15	0.0454545
C6 (Hexane)	692	0.054	0.3737	914	0.4936	440	0.2376	90.814	0.0490396
		100%	2.29789116		334.59		645.03		19.3043903
AIR	1.205		1.906963618					29	

Tank Capacity	150	Ltr		0.150	Cum → (2)
Temperature	55.0000	°C	131 °F	590.67	°R → (3)
Pressure	3675	PSIg		3689.7	PSIa → (4)

Z = 0.99784 (Compressibility Factor) โดยค่า Z หาได้ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 12213

R = 10.73 (Gas Constant) (lbf /in.2) (ft3)/lb mole °R

μ = 0.99 (Gas Efficiency)

$$\varphi = \frac{PMw}{ZRT} = \frac{P \times Mw \times \mu}{Z \times 10.73 \times T} = \frac{70{,}515.13}{6{,}324.20}$$

= 11.15 Lbs/Ft3

= 179.2927960 Kg/M3

Tank 150 ltr = 26.89391940 Kg

$$Tr = \frac{T}{Tc} = \frac{590.67}{334.59} = 1.765374$$

$$Pr = \frac{P}{Pc} = \frac{3689.7}{645.03} = 5.72018$$

2 การคำนวณหาน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas's Weight)

1. ต้องทราบข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติที่เราทราบ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ สัดส่วนโดยโมล (Mol. Fraction) ปริมาตรของถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ ใส่ลงในช่องที่กำหนด (สีแดง หมายเลข 1-4)

2. ต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซธรรมชาติ อาทิเช่น ความหนาแน่นของสารประกอบต่างๆ ของก๊าซธรรมชาติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิวิกฤตของก๊าซธรรมชาติ ความดันวิกฤตของก๊าซธรรมชาติและน้ำหนักของสารประกอบต่างๆ ของก๊าซธรรมชาติ ใส่ในช่องที่กำหนด (สีเขียว หมายเลข 1-4) โดยข้อมูลต่าง ๆ ข้างต้นสามารถหาได้จากคู่มือวิศวกรรมเคมีเพอร์รี่[11]

3. .ใส่ข้อมูลค่า COMPRESSION FACTOR (Z) สามารถหาค่าได้ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานระดับนานาชาติ ISO 12213 [12]

4. ใส่ข้อมูลค่า GAS EFFICIENCY (μ)

5. เมื่อใส่ข้อมูลต่างๆ ของก๊าซธรรมชาติทั้งหมดแล้ว จะทำการคำนวณตามหลักเคมีและฟิสิกส์ทำให้ทราบน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติที่เติมลงในถังบรรจุซึ่งติดตั้งอยู่กับรถยนต์ประเภทต่างๆ ในแต่ละครั้งได้อย่างใกล้เคียงความถูกต้อง

ซึ่งในกรณีตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงการคำนวณนี้ จะได้ผลลัพธ์ คือ ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติขนาด ปริมาตร 150 ลิตร สามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติ ที่ความดัน 200 บาร์ ได้ปริมาณก๊าซ ประมาณ 26 กิโลกรัม ดังนั้น ถ้าคำนวณความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องยนต์รถบรรทุก ขนาดประมาณ 300 แรงม้าโดยการทดลองแล้ว ก๊าซหนึ่งกิโลกรัมรถบรรทุกจะวิ่งได้ระยะทางประมาณ 2 กิโลเมตร ในหนึ่งถังบรรจุก๊าซขนาด 150 ลิตรนี้ รถจะวิ่งได้ประมาณ 52 กม. (การทดสอบขึ้นอยู่กับ สภาพเครื่องยนต์ และน้ำหนักบรรทุก) รถบรรทุกจะติดตั้งถัง 6 ใบ จะสามารถขับรถได้ระยะทางประมาณ 312 กม. ซึ่งจะมีน้ำหนักถัง 6 ใบ ใบละ145 กิโลกรัม รวมประมาณ 870 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า การบรรจุก๊าซธรรมชาติ ในถัง มีขีดจำกัดของปริมาณก๊าซและน้ำหนักของถังก๊าซ รวมทั้งความต้องการการบำรุงรักษาระบบเป็นอย่างดีมีมาตรฐานเพราะเป็นระบบแรงดันสูง ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จึงกลายเป็นจุดอ่อนของระบบก๊าซธรรมชาติในปัจจุบัน

“ การคำนวณหาน้ำหนักของก๊าซธรรมชาตินั้น จะต้องทราบตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ สัดส่วนโดยโมล (Mol. Fraction) ปริมาตรของถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ ความหนาแน่นของสารประกอบต่าง ๆ ของก๊าซธรรมชาติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิวิกฤตของก๊าซธรรมชาติ ความดันวิกฤตของก๊าซธรรมชาติและน้ำหนักของสารประกอบต่างๆ ของก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อให้เพียงต่อการคำนวณหาน้ำหนักของก๊าซธรรมชาติ”

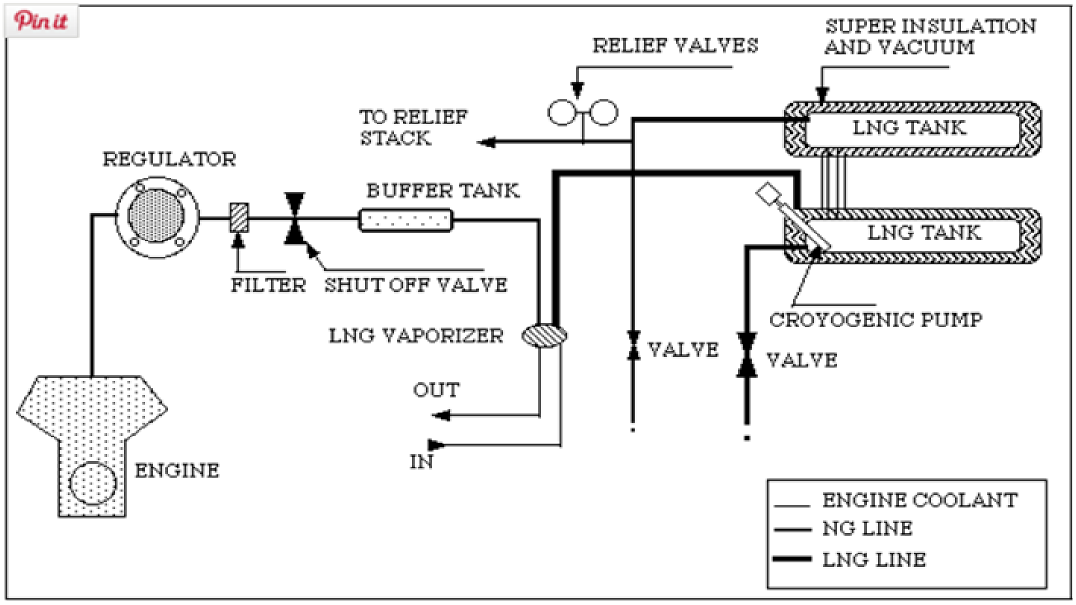
อย่างไรก็ตามจึงสรุปได้ว่า ก๊าซธรรมชาติที่นำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ นั้นอยู่ในสถานะก๊าซ ซึ่งมีจุดอ่อน คือ สามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติลงในถังบรรจุก๊าซที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ได้ในปริมาณน้อย มีผลทำให้สามารถวิ่งได้ในระยะทางสั้น ๆ และต้องเติมก๊าซธรรมชาติบ่อยครั้ง ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาข้างต้น จึงมีการนำเอาเชื้อเพลิงชนิดใหม่มาใช้แทนก๊าซธรรมชาติ เรียกว่า“ก๊าซธรรมชาติเหลว (LIQUEFIED NATURAL GAS)”หรือ LNG

ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas) (LNG) [13]

ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas) คืออะไร? ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas) หรือที่เรียกว่า LNG คือ ก๊าซธรรมชาติที่ที่ถูกเปลี่ยนสถานะจากก๊าซให้อยู่สภาวะของเหลวภายใต้สภาวะเยือกแข็ง โดยผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่เรียกว่า Liquefaction (รูปที่ 3) โดยใช้อุณหภูมิต่ำมากถึงประมาณ ลบ 161 (-161) องศาเซลเซียส ทำให้ก๊าซธรรมชาติเปลี่ยนสภาพไปเป็นของเหลวที่ความดันบรรยากาศ ถ้านำข้อมูลคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติที่อุณหภูมิลบต่ำมาก ๆ ไปใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักจากวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะทำให้ทราบว่าก๊าซธรรมชาติเหลวมีการใช้ปริมาตรเพียง 1 ใน 600 ของปริมาตรที่ต้องการเมื่อเทียบกับก๊าซธรรมชาติที่ความดันบรรยากาศ มีผลทำให้สามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ ที่เรียกว่า Regasification [14] อีกครั้งเพื่อสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ โดยก๊าซธรรมชาติเหลวนั้นจะถูกเก็บรักษาไว้ในถังเก็บที่ออกแบบมาเป็นพิเศษออกแบบมาเป็นพิเศษโดยเฉพาะ ที่เรียกว่า Cryogenic sea vessel and cryogenic road tanker (รูปที่ 4) ซึ่งสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติเหลวได้นาน ในความดันที่ประมาณ 10 บาร์ (ความดันประมาณก๊าซ LPG ที่ใช้ในครัวเรือน) จึงทำให้ถังมีน้ำหนักน้อยกว่าถังบรรจุของก๊าซธรรมชาติปกติถึง 5 เท่า อีกทั้งยังสามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติเหลวได้ มากกว่าก๊าซธรรมชาติปกติ เกือบ 3 เท่า ในขนาดถังเดียวกัน

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติเหลว

- มีลักษณะใส
- ไม่มีฤทธิ์เป็นสารกัดกร่อน
- ไม่เป็นพิษ
- ไม่มีกลิ่น
- มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ



3 แสดงการทำงานของระบบ LNG .ในยานยนต์ [14]

4 แสดงการติดตั้งระบบก๊าซธรรมชาติเหลวในรถบรรทุก [15]

ตารางที่ 3 แสดงการปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลงประเภทต่าง ๆ

Hazard	LNG	LPG	Gasoline	Fuel Oil
Toxic	No	No	Yes	Yes
Carcinogenic	No	No	Yes	Yes
Flammable Vapor	Yes	Yes	Yes	Yes
Form Vapor Clouds	Under special condition	Yes	Yes	No
Asphyxiant	Yes, without adequate O_2	Yes, same as LNG	No	No
Extreme Cold Temperature	Yes, but in a vapor cloud	Same as LNG	Yes	Yes
Other health hazards	No	No	Eye irritant, Narcosis, Nausea, others	Same as gasoline
Flash Point, °C	-188	-104	-46	60
Boiling Point, °C	-161	-42	32	204
Flammable limits in Air %	5-15	2.1-9.5	1.3-6	N/A
Stored Pressure	Atmospheric	Pressurized (atmospheric if refrigerated)	Atmospheric	Atmospheric
Behavior if Spilled	Evaporates, forming visible "clouds" Portions of cloud could be flammable or explosive under certain conditions	Evaporates, forming vapor clouds which could be flammable or explosive under certain conditions	Evaporates, forms flammable pool; environmental clean up required	Same as gasoline

จากข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวเป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะกับการนำมาใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติที่อยู่สถานะก๊าซเป็นอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันมีบางหน่วยงานนำเอาก๊าซธรรมชาติเหลวไปไปใช้เช่นกัน ได้แก่ ผู้ให้บริการเรือโดยสารคลองแสนแสบ ใช้ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) กับเรือโดยสารคลองแสนแสบ เป็นลักษณะการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวร่วมกับการใช้น้ำมัน [16] ผลการทดสอบประสบความสำเร็จดีเช่นกัน ขณะเดียวกันการพัฒนาด้านพลังงานทางเลือกโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวหรือ LNG นี้ ประเทศไทยโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง กำลังมีแนวโน้มในการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อสนับสนุนพลังงานในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานรวมถึงโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ต้องใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานต้นทุน

อีกทั้งการพัฒนานำไปใช้กับยานยนต์หรือรถและเรือกำลังได้รับความสนใจเนื่องจากความคุ้มค่าในการลงทุนและเป็นพลังงานทางเลือกที่มีประสิทธิภาพที่มีความคุ้มค่าในอนาคตที่พลังงานหลักคือน้ำมันได้ลดน้อยลง

สรุป

จากการที่กรมอู่ทหารเรือเป็นหน่วยเทคนิคในระดับชาติที่เป็นผู้นำในการศึกษาด้านพลังงานทางเลือกเช่นไบโอดีเซล และก๊าซธรรมชาติมาโดยตลอด ดังนั้นจากข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติเหลว ผู้เขียนจึงมีแนวคิดสนับสนุนให้กรมอู่ทหารเรือควรทำการศึกษาในการนำก๊าซธรรมชาติเหลวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับยานยนต์ของกองทัพเรือ เช่น รถบรรทุกทางธุรการของกรมอู่ทหารเรือหรือเรือทางธุรการต่างๆ ที่ให้บริการแก่บุคลากรของกองทัพเรือเป็นต้น เพื่อเป็นการเตรียมตัวในด้านเทคนิคของกรมอู่ทหารเรือ ในการพัฒนานำพลังงานจากก๊าซธรรมชาติเหลวมาใช้ ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อกองทัพเรือยังให้กองทัพเรือมุ่งเข้าสู่ To become the best ในด้านพลังงานทางเลือกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] วารสารกรมอู่ทหารเรือ. (2545). BIODIESEL เชื้อเพลิงจากพืช พลังงานเพื่ออนาคต. กรุงเทพฯ: กองทัพเรือ

[2] http://www.ryt9.com/s/prg/150990

[3] http://www3.egat.co.th/re/image_index/graph2-.jpg

[4] ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. เอกสารประกอบการสอน วิชาวิศวกรรมแก๊สธรรมชาติ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[5] http://www.deqp.go.th

[6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

[7] กองนโยบายและแผนพลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์. สิงหาคม 2543

[8] https://th.wikipedia.org

[9] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์. เอกสารแผ่นพับเผยแพร่

[10] http://thaipublica.org/10/2011/ngv-public-safety/

[11] Robert H. P., Don W. G., James O. M. Perry’s chemical engineers’handbook. (7th ed.) McGraw-HillR. R. Donnelley & Sons Company.

[12] ISO International Standard 2:2006-12213 (E). “Natural Gas-Calculation of Compression Factor-Part 2 Calculation Using Molar-Composition Analysis. 2006.

[13] http://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/598740

[14] http://www.gasthai.com/ngv/boardngv/question.asp?id=A2070

[15] http://f.ptcdn.info/-8525571032-1399519986/000/018/685o.jpg

[16] http://www.beta.ryt9.com/s/tpd/958234