คู่มือประกอบการเรียนการสอน

เพื่อพลาง

ชื่อหลักสูตร ระบบขับเคลื่อนเรือ

แผนกพลังขับเคลื่อน

กองฝึกการช่างกล

กองการฝึก กองเรือยุทธการ

คำนำ

คู่มือระบบขับเคลื่อนเรือเล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการเรียน วิชาระบบขับเคลื่อนเรือ โดยรวบรวม เรียบเรียงจาก เอกสารประกอบการเรียน คู่มือ นิตยสาร รวมทั้งความรู้ในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันในระบบขับเคลื่อนเรือมาประกอบกัน เพื่อให้การเรียนรู้ในวิชาระบบขับเคลื่อนเรือ ได้เข้าใจและสามารถเป็นแนวทางในการนำไปศึกษารายละเอียดต่างๆ และนำไปปฏิบัติงานได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

อนึ่ง การจัดทำคู่มือระบบขับเคลื่อนเรือฉบับนี้ ขอขอบคุณ ข้าราชการกองฝึกการช่างกลและป้องกันความเสียหาย ทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในการจัดทำคู่มือฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

หากพบข้อความหรือเนื้อหาภายในคู่มือฉบับนี้ ส่วนใดขาดตกบกพร่องหรือไม่ถูกต้อง กรุณาแจ้งที่ กองฝึกการช่างกลและป้องกันความเสียหาย กองการฝึกกองเรือยุทธการ เพื่อจะได้ทำการแก้ไขต่อไป

กองฝึกการช่างกลและป้องกันความเสียหาย
ธันวาคม 2560

สารบัญ

หน้า

1. บทที่ 1 รายละเอียดทั่วไปของเรือ

1. คำจำกัดความของเรือ 1
2. ภารกิจของเรือ 1
3. ประเภทของเรือ 1
4. เส้นบอกระดับบรรทุกของเรือ 4

2. บทที่ 2 ความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนตัวเรือ

1. ความต้านทานของเรือ 5
2. ลำดับการขับเคลื่อนเรือ 6
3. องค์ประกอบของความต้านทานรวมของตัวเรือ 11
4. การลด Wave Making Resistance 16
5. ความต้านทานจากอากาศ 17
6. ความต้านทานอื่นๆ ที่ไม่ได้เกิดจากตัวเรือ 17
7. ความต้านทานและวิธีการปฏิบัติต่อความต้นทานของเรือ 18

3. บทที่ 3 ระบบขับเคลื่อนเรือ

1. กล่าวโดยทั่วไป 19
2. การทำงานของอุปกรณ์ขับเคลื่อน 19
3. พัฒนาการของระบบขับเคลื่อน 20
4. ความต้องการของระบบขับเคลื่อน 20
5. การเลือกระบบขับเคลื่อนที่ใช้ในเรือ 24
6. ประเภทของระบบขับเคลื่อน (Type of Propulsion System) 26
7. การพัฒนาและการออกแบบระบบขับเคลื่อนของเรือ (Combined Marine Propulsion System) 31
8. สรุปโครงสร้างของระบบขับเคลื่อนที่ใช้งานในเรือรบผิวน้ำ 40

4. บทที่ 4 ระบบส่งกำลังขับ

1. การเปลี่ยนกำลังเครื่องยนต์เป็นกำลังขับเคลื่อน 41
2. หมู่เฟืองทดรอบ 41
3. การส่งกำลังเพลาตัดกัน 45
4. การส่งกำลังเพลาข้ามกัน 47
5. ส่วนต่าง ๆ ของเฟืองและขนาดฟันเฟืองตรง 49
6. หมู่เฟืองทดรอบที่ใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ 51
7. หน้าที่ของหมู่เฟืองทดรอบในระบบขับเคลื่อนเรือ 51
8. การแบ่งประเภทของเฟืองทดรอบที่ใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ 51
9. โครงสร้างต้นแบบของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร 53
10. ส่วนประกอบของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร 55
11. Gas Turbine Break 67
12. ระบบน้ำมันหล่อหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร 68
13. การใช้งานเฟืองทดรอบเพลาใบจักร 70

5. บทที่ 5 ระบบเพลาใบจักร

1. บทนำ 76
2. การทำงานโดยทั่วไปของเพลาใบจักรในระบบขับเคลื่อน 76
3. ลักษณะและประเภทเพลาใบจักรในระบบขับเคลื่อน 77

4. ประเภทเพลาใบจักร 77
5. วัสดุที่นิยมใช้ทำเพลาใบจักร 79
6. บทที่ 6 แบริ่งรองรับเพลาใบจักร
1. บทนำ 81
2. ความรู้ทั่วไปของแบริ่ง 81
3. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร 86
7. บทที่ 7. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร เรื่อง แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Main Propulsion Thrust bearing)
1. กล่าวโดยทั่วไป 90
2. การแบ่งประเภทของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร 90
3. ระบบควบคุมแบริ่งกันรุนชุดปรับลดแรงดัน 102
4. การติดตั้งแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรของเรือผิวน้ำ 103
5.ระบบน้ำมันหล่อลื่น 106
6. การใช้งานแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร 107
7. การซ่อมบำรุง 109
8. การแก้ไขข้อขัดข้อง 109
8. บทที่ 8. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร เรื่อง แบริ่งรับเพลาใบจักร (Line Shaft Bearings)
1. กล่าวโดยทั่วไป 112
2. ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน 112
3. การออกแบบแบริ่งรับเพลาใบจักร 113
4. ส่วนประกอบของแบริ่งรับเพลาใบจักร 114
5. ฐานปรับระยะ 115
6. การใช้งานและปัญหาข้อขัดข้อง 117
7. การซ่อมบำรุง 121
8. การปฏิบัติกับตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว 141
9. บทที่ 9. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร เรื่อง แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร
1. กล่าวโดยทั่วไป 142
2. การออกแบบแบริ่ง 142
3. การหล่อลื่น 145
4. ปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน และขั้นตอนการปฏิบัติ 148
5. การซ่อมบำรุง 149
6. การตรวจสอบ 149
7. การเปลี่ยนแบริ่ง 150
10. บทที่ 10. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร เรื่อง ซีลเพลาใบจักร
1. กล่าวโดยทั่วไป 153
2. ซีลกระบอกดีฟุต 153
3. Crane Mechanical – Type Face Seal 155
4. Rubber-Lip Face Seals 159
5. ซีลพองลม 163
6. ระบบท่อทาง 165
7. ซีลเพลาใบจักรผนังกั้นห้องของเรือผิวน้ำ 167
8. ซีลแบบแป๊กกิ้ง 171
11. บทที่ 11 ระบบใบจักร
1. กล่าวโดยทั่วไป 173
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับใบจักร 174

3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำใบจักร 181
4. พลศาสตร์ของน้ำโดยใบจักร 182
5. ผลจากการทำงานของใบจักรลักษณะต่างๆ 186
6. การมีอากาศหมุนเวียนของใบจักร 187

.....

ระบบขับเคลื่อนเรือ

บทนำ

ปัจจุบันระบบขับเคลื่อนเรือมีการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนต้นกำลังขับ ซึ่งเป็นส่วนสร้างพลังงานในการขับเคลื่อน ได้แก่ เครื่องจักรใหญ่ แบบต่างๆ และส่วนส่งกำลังขับ คือการถ่ายทอดพลังงานจากเครื่องขับไปยังเพลาใบจักรเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ตามต้องการ ได้แก่ ชุดเกียร์/คลัทช์ ระบบเพลาใบจักร และใบจักร การขับเคลื่อนของเรือในการเดินหน้า ถอยหลัง การหันเลี้ยวตำแหน่งใดๆ มีผลจากสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสมกับการออกแบบของเรือ ซึ่งการพัฒนานั้นมิได้มีแต่เครื่องจักรใหญ่เท่านั้น ส่วนส่งกำลังก็มีการพัฒนาขึ้นให้ทันต่อการใช้งานในภารกิจต่างๆด้วยเช่นกัน

การออกแบบระบบขับเคลื่อนเรือมีวัตถุประสงค์พื้นฐานหลายประการ

- การสร้างพลังงานสำหรับการขับเคลื่อน
- การถ่ายทอดพลังงานจากเครื่องจักรใหญ่ไปยังเพลาใบจักร
- ลดรอบ ตัดและต่อ การส่งกำลังจากเครื่องจักรใหญ่ไปยังเพลาใบจักร
- เปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วตามสภาพการใช้งาน
- เปลี่ยนทิศทางการขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง

การเรียนรู้ในวิชาระบบขับเคลื่อนเรือ นอกจากจะเรียนรู้ในเรื่องของเครื่องต้นกำลังและระบบส่งกำลังแล้ว การพิจารณาเลือกแบบของระบบขับเคลื่อนและชนิดพลังงานที่นำมาใช้ในการขับเคลื่อนเรือที่เหมาะสมก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้เรือสามารถที่จะปฏิบัติภารกิจได้ลุล่วงตามต้องการเพื่อให้ได้แนวทางที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ความรู้ทั่วไปบางอย่างจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับตัวแปรที่มีผลักระทบต่อเรือและเครื่องยนต์ดีเซลที่มีผลต่อระบบขับเคลื่อน

เอกสารฉบับนี้จะอธิบายถึงคำศัพท์เบื้องต้นที่เกี่ยวกับประเภท ขนาด รูปแบบของเรือและชี้แจงตัวแปรบางประการที่เหมาะสมกับตัวเรือ เงื่อนไขบางประการของระบบส่งกำลัง ระบบเพลาใบจักรและใบจักรรวมถึงแผนภาพภาระของเครื่องยนต์ดีเซล

เอกสารฉบับนี้แบ่งหัวข้อต่างๆ ไว้เป็น 11 บท ได้แก่

บทที่ 1 อธิบายคำศัพท์พื้นฐานที่ใช้ในการกำหนดขนาดและรูปแบบเรือ ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนตัวของเรือ น้ำหนักที่เรือรับได้เต็มที่(deadweight),แบบร่าง, ความยาวระหว่าง perpendiculars ค่าสัมประสิทธิ์ห้องแต่ละบล็อก ฯลฯ ข้อกำหนดเรืออื่น ๆ ที่อธิบายไว้ ได้แก่ ความต้านทานที่มีต่อประสิทธิภาพในการลากจูง องค์ประกอบของแรงเสียดทาน ส่วนที่เหลือและความต้านทานของอากาศและอิทธิพลของความต้านทานเหล่านี้ที่มีผลตอการปฏิบัติงาน

บทที่ 2 เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนเรือและสภาวะของการไหลบริเวณรอบๆใบจักรในส่วนนี้จะกล่าวถึงสมการของค่าสัมประสิทธิ์และการคำนวณหักลบของค่าสัมประสิทธิ์ และข้อมูลอ้างอิงต่างๆ

มีการอธิบายถึงพลังงานที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับใบจักรจะอยู่บนพื้นฐานของความสามารถต่อความต้านทานที่มีต่อประสิทธิภาพในการลากจูงและใบจักแบบต่างๆและลักษณะของตัวเรือที่มีประสิทธิภาพด้วย รวมทั้งได้อธิบายการทำงานและข้อจำกัดตามเงื่อนไขต่างๆของใบจักรแบบคงที่(Fix Pitch) รวมทั้งอธิบายสำหรับการแล่นเรือในสภาพอากาศที่สงบและความสัมพันธ์กันของการทำงานต่อการปฏิบัติงานหนัก / เบาซึ่งใช้เมื่อเรือกำลังแล่นและประเภทของความต้านทานชนิดพิเศษอื่นๆ เช่นความสกปรกทะเล, คลื่นลมที่แรงมากในทะเล ฯลฯ

บทที่ 3 จะชี้ให้เห็นถึงแบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนหลักของเรือรวมถึงความสำคัญในการเลือกจุด MCR ที่ถูกต้องของเครื่องจักรใหญ่และแผนผังแสดงภาระของเครื่องยนต์จะต้องคำนึงถึงการออกแบบใบจักร ซึ่งจะได้แสดงและอธิบายแผนผังดังกล่าวและโหลดที่เกี่ยวข้องรวมทั้งมีตัวอย่างแสดงไว้

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบที่ใช้ในการส่งกำลังขับ การชนิดและการทดรอบของเฟือง อุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมต่อ เช่น ข้อต่อต่างๆ คลัทช์แต่ละชนิด ลักษณะวิธีในการหล่อลื่นหมู่เฟืองทดรอบว่าเป็นอย่างไรพร้อมทั้งรูปภาพประกอบ ในตอนท้ายบทได้กล่าวถึงการใช้งานและการดูแลรักษาระบบส่งกำลังขับอย่างถูกต้อง

บทที่ 5 เป็นบทที่กล่าวถึงชุดเพลาใบจักรว่ามีชื่อเรียก ส่วนประกอบ การทำงานและวัสดุที่ใช้ทำเพลาใบจักรนั้นเป็นอย่างไร

บทที่ 6 ถึง 10 เป็นบทที่อธิบายถึงส่วนของแบริ่งรับเพลาใบจักร ซึ่งในแต่ละบทได้แยกส่วนและแบบต่างๆ ของแบริ่งไว้ โดยแสดงให้ทราบถึงชนิดของแบริ่งที่ใช้กับส่วนของเพลาใบจักรในแต่ละส่วนว่าเป็นอย่างไร โดยในตอนต้นของบทกล่าวถึงความหมาย ความสำคัญ และแบบต่างๆ ของแบริ่งทั่วไป จากนั้นได้แบ่งส่วนต่างๆ ของบทออกไปตาม

ลักษณะการติดตั้งและการทำงานของแบริ่ง เช่น แบริ่งรับเพลาใบจักร แบริ่งกันรุน ซีลเพลาใบจักร เป็นต้น ในตอนท้ายของแต่ละบท ได้กล่าวถึงการใช้งานและการดูแลรักษา

บทที่ 11 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายของเอกสารฉบับนี้ กล่าวถึง**อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังงานที่ออกจากเครื่องยนต์ไปผลักน้ำเพื่อขับเคลื่อนตัวเรือ** ซึ่งได้แก่ ใบจักร ในบทนี้บอกให้ทราบถึงส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญ ลักษณะต่างๆ ทฤษฎีบางประการ ที่เกี่ยวของกับระบบใบจักร รวมถึงการทำงานและผลกระทบที่เกี่ยวข้องจากการทำงานของใบจักรและสุดท้ายจะกล่าวถึง**ผลจากการทำงานของใบจักรลักษณะต่างๆ**

ทั้งนี้ขอบเขตของเอกสารฉบับนี้ได้ให้คำอธิบาย และตัวอย่างไว้ด้วย ซึ่งในบางขั้นตอนอาจมีความซับซ้อน ดังนั้นรายละเอียดบางประการสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงที่ระบุไว้ใน“บรรณานุกรม”ท้ายฉบับ

บทที่ 1
รายละเอียดทั่วไป

1. คำจำกัดความของเรือ

เรือ หมายถึง ยานพาหนะทางน้ำทุกชนิด ดังนั้น เรือจัดเป็นยานพาหนะทางน้ำที่ใช้ในการสนับสนุนภารกิจที่ใช้เวลาต้องการความมั่นใจสูง บางโอกาสยังต้องใช้ในงานเอนกประสงค์ที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง ไม่ว่าทางด้านขนส่งหรือทางทหาร หากได้เพิ่มข้อกำหนดเฉพาะ"เรือเดินทะเล" ที่อยู่ภายใต้กฎข้อบังคับการตรวจเรือ ดังนั้น เรือเดินทะเลจะต้องมีมาตรฐานทั้งในด้านการต่อเรือให้มีความแข็งแรง และการติดตั้งเครื่องมือเครื่องใช้ อุปกรณ์รวมทั้งระบบต่างๆไม่ว่าจะเป็นระบบเครื่องจักร ระบบไฟฟ้า และโครงสร้าง ที่ต้องประกอบกันอย่างซับซ้อน ทั้งนี้เพราะเรือเดินทะเลอาจประสบเหตุให้เกิดภัยอยู่มากมาย เช่น ภัยจากธรรมชาติ จากการเดินเรือ จากตัวเรือ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัย ความคงทนต่อทะเล เพื่อให้เรืออยู่ในสภาพที่สามารถเดินทะเลได้อย่างปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในทางปฏิบัติแล้วหน้าที่หลักของเรือจากความเหมาะสมคือการขนส่ง ดังนั้น เรือจึงไม่สามารถออกแบบให้ปฏิบัติงานในทุกสภาวะได้ การออกแบบเรือจึงจะต้องคำนึงถึงประโยชน์สูงสุดโดยผ่านกระบวนการวิเคราะห์ที่เป็นแบบแผน มีองค์กรรับรองในทุกขั้นตอนของการออกแบบให้แบบที่ได้มีความเหมาะสม โดยกระบวนการต่างๆ จะได้รับการวิเคราะห์ตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งถึงเป้าหมายและจะทำการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อเจาะลึกไปในหน้าที่ของระบบต่างๆ และผลกระทบที่ยังมีอยู่ ซึ่งเป้าหมายที่แท้จริงอาจนำมาประเมินค่าอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นลักษณะต่างๆ จะถูกนำมาวิเคราะห์ปัจจัยที่สามารถเข้ากันได้จนกลายเป็นแบบเรือที่สมบูรณ์

ข้อมูลที่ถูกต้องจากแบบเรือทำให้เกิดงานที่มีประสิทธิภาพและเป็นจริงได้ การวิจัยเป็นการปฏิบัติที่เหมาะสมหรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งประกอบด้วย คนและเครื่องจักรเป็นอันดับแรก บทเรียนก็เป็นความรู้อีกแขนงหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยจะทำให้ลดเวลาในการตรวจสอบลง

ในความเป็นจริง ระยะเวลาในการใช้เรือโดยประมาณจะอยู่ที่ 20-25 ปี ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและการเมือง วงรอบการซ่อมบำรุงเรือโดยประมาณมีความคุ้มค่ามากกว่าการซ่อมบำรุงรถและเครื่องบินที่มีอายุการใช้งานสั้นกว่า ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลสำคัญในการพิจารณาการใช้เรือ มีหลายครั้งในระหว่างช่วงอายุการใช้งานของเรือที่ต้องมีการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ให้มีความทันสมัย และต้องมีการซ่อมทำหลายครั้งเช่นกัน

เหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ในช่วง 5-10 ปีแรกของอายุการใช้งานของเรือ จะมีความน่าเชื่อถือมาก และยังสามารถใช้ไปได้อีกเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม ก็มีความพยายามที่จะคิดค้นทางวิศวกรรมที่จะพัฒนาลักษณะต่างๆ ของเรือ เช่น ความคงทน การซ่อมบำรุง การส่งกำลังบำรุง อายุการใช้งาน ความปลอดภัย และการปรับปรุงรูปแบบพื้นฐาน ดังนั้น การสร้างเรือจึงต้องอาศัยการออกแบบที่ดีและทักษะทางวิศวกรรมแต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับเศรษฐกิจในขณะนั้นด้วย

2. ภารกิจของเรือ

เรือเป็นพาหนะที่จำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในการเดินทางของคนหรือสินค้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง รวมถึงการติดต่อระหว่างประเทศต่อประเทศ ทวีปต่อทวีป การสงคราม ตลอดจนภารกิจต่างๆ

การใช้งานของเรือมีวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

1. ใช้ในการสัญจรไปมา
2. ใช้ในการบรรทุกสินค้า
3. ใช้ในการทำสงคราม
4. ใช้ในพิธีและประเพณีต่างๆ

3. ประเภทของเรือ

การแบ่งประเภทของเรือมีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของหน่วยงาน ภารกิจ เครื่องมือ อุปกรณ์ สินค้าที่รับภาระบรรจุอยู่และบางครั้งก็เป็นลักษณะหรือวิธีในการขนถ่ายสินค้า ซึ่งเรือสามารถแบ่งหมวดหมู่ออกเป็นชั้นและประเภทต่างๆ

จากลักษณะดังกล่าว เอกสารฉบับนี้จึงแบ่งประเภทของเรือออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ประเภทเรือสินค้า ประเภทเรือรบ และประเภทเรือชนิดพิเศษ

3.1. ประเภทเรือสินค้า

น้ำหนักบรรทุก ความเร็วในการเดินทาง จำนวนของเหลวที่บรรจุภายในเรือเป็นปัจจัยแรกในการตัดสินใจ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องนำมาตัดสินใจรวมทั้งน้ำหนักบรรทุกจะอยู่ในรูประวางขับน้ำของเรือและระวางบรรทุกที่เรือสามารถรับได้ จึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการวิเคราะห์ โดยต้องควบคุมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับเรือ

เรือประเภทนี้ได้แก่ เรือบรรทุกสินค้า(Container ships) เรือเทกอง(Bulk carriers) (สำหรับสินค้าจำนวนมากเช่น ธัญพืช, ถ่านหิน, แร่,ฯลฯ) และเรือบรรทุกน้ำมัน(Tankers) ซึ่งสามารถแยกย่อยออกอีกโดยกำหนดรายละเอียดของขั้นและประเภทของเรือไว้มากขึ้น ดังนั้น เรือบรรทุกน้ำมันก็สามารถแยกออกเป็นเรือบรรทุกน้ำมัน เรือบรรทุกแก๊ส เรือบรรทุกสารเคมี และแบบบรรทุกรวมเช่น เรือบรรทุกน้ำมัน / สารเคมี

3.2. ประเภทเรือรบ

เรือประเภทนี้แบ่งตามหน้าที่และขีดความสามารถเฉพาะเรือ โดยคำนึงถึงความคงทนทะเลเป็นพื้นฐานหลัก ส่วนระบบอาวุธ จรวด เครื่องบิน หรือระบบสงครามอิเล็กทรอนิคส์ เป็นระบบต่อสู้และการป้องกันที่ต้องนำมารวมเข้าด้วยกัน เช่น การออกแบบเรือรบ ต้องให้ใช้ในการสงครามได้ และระบบอาวุธต้องเที่ยงตรงแน่นอน มีความคงทนทะเล น้ำหนักบรรทุกก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นต้องกำหนดรวมถึงความเร็วก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของภารกิจด้วย

- **Battleship หรือเรือประจัญบาน (BB)**

เป็นเรือรบทางทะเลที่ใช้ปืนยิงเข้าหากันอย่างเดียว ฉะนั้นเรือประเภทนี้ต้องมีเกราะหนาและปืนใหญ่ที่ใหญ่มากและมีจำนวนมากที่สุด ในปัจจุบันไม่มีเรือประเทศนี้เข้าประจำการแล้ว

- **Cruiser หรือเรือลาดตระเวน (CG)**

ปัจจุบันเป็นเรือรบทางทะเลขนาดใหญ่ขึ้นถึงขั้นที่มีความสามารถในการต่อตีเป้าหมายได้หลากหลาย มีระบบโจมตีกับระบบป้องกันตัวแยกจากกัน มีหน้าที่หลักในการคุ้มกันกระบวนเรือ ปราบปรามเรือดำน้ำ จนสามารถปฏิบัติภารกิจได้ทั้ง 3 มิติ คือการป้องกันภัยทางอากาศ ผิวน้ำและปราบเรือดำน้ำ

- **Fas Attack Craft หรือเรือเร็วโจมตี (FAC)**

เป็นเรือขนาดเล็กความเร็วสูง เน้นการติดตั้งอาวุธระยะไกล แบ่งประเภทตามอาวุธที่ติดตั้ง เช่น เรือเร็วโจมตีปืน เรือเร็วโจมตีอาวุธปล่อยนำวิถี โดยเรือสมัยใหม่ได้มีการติดตั้งอาวุธป้องกันภัยทางอากาศด้วย

- **Patrol Boat หรือเรือตรวจการณ์**

เป็นเรือปืนขนาดเล็ก มีหน้าที่ในการตรวจการณ์ในพื้นที่ใกล้ฝั่ง มีขีดความสามารถในการรบต่ำเมื่อเทียบกับเรือประเภทอื่นๆ เหมาะสำหรับภารกิจในการตรวจการณ์ในยามสงบ รักษากฎหมายทางทะเลแต่ก็มีการสร้างเรือประเภทนี้ให้มีขนาดใกล้เคียงเรือลาดตระเวนขนาดเล็กแต่มีขีดความสามารถในการรบที่ด้อยกว่า

3.3. ประเภทรูปแบบพิเศษ

เป็นรูปแบบเรือที่สามารถปฏิบัติภารกิจได้หลากหลาย ไม่ว่าเป็นทางทะเลหรือแม่น้ำ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับงานที่เรือนั้นไปปฏิบัติ เช่น เรือทัก เรือกู้ภัย เรือวิจัยทางทะเล เรือดำน้ำ เรือขุดสันดอน เรือสำราญ เรือข้ามฟาก เรือโยง เรือดัน เรือท้องแบน และเรือที่ออกแบบมาเพื่องานเฉพาะอื่นๆ ซึ่งเรือประเภทนี้ไม่ได้ใช้หลักพื้นฐานทางการต่อเรือและวิศวกรรมเรือ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์พิจารณาที่ดีจะทำให้ได้ระบบและแบบที่เหมาะสมซึ่งจะมีผลทั้งทางการทหารและทางเศรษฐกิจควบคู่กันไป

ตัวอย่างประเภทเรือสินค้า

Category	Class	Type	
Tanker	Oil tanker	Crude (oil) Carrier Very Large Crude Carrier Ultra Large Crude Carrier Product Tanker	CC VLCC ULCC
	Gas tanker Chemical tanker	Liquefied Natural Gas carrier Liquefied PetroleumGas carrier	LNG LPG
	OBO	Oil/Bulk/Ore carrier	OBO
Bulk carrier	Bulk carrier		
Container ship	Container ship	Container Carrier Roll On – Roll Off	Ro - Ro
General cargo ship	General cargo Coaster		
Reefer	Reefer	Refrigerated cargo vessel	
Passenger ship	Ferry Cruise vessel		

ตัวอย่างประเภทเรือรบ

กองเรือ	หมวดเรือ	ชนิดเรือ	ตัวย่อ
กองเรือตรวจอ่าว	หมวดเรือที่ 1 หมวดเรือที่ 2 หมวดเรือที่ 3	เรือ ตกก. ชุด ร.ล.ปัตตานี (2 ลำ), ชุด ร.ล.กระบี่ (1 ลำ)เรือ รจอ. ชุด ร.ล.ปราบปรปักษ์ (3 ลำ), ชุด ร.ล.ราชฤทธิ์ (2 ลำ) เรือ รจป. ชุด ร.ล.ชลบุรี (3 ลำ) เรือ ตกป. ชุด ร.ล.สัตหีบ (6 ลำ), ชุด ร.ล.หัวหิน (3 ลำ),ชุด ร.ล.แหลมสิงห์ (1 ลำ)	กตอ.
กองเรือฟรีเกต ที่ 1	หมวดเรือที่ 1 หมวดเรือที่ 2 หมวดเรือที่ 3	เรือ ฟก. ร.ล.ตาปี,ร.ล.มกุฎราชกุมาร,ร.ล.รัตนโกสินทร์ เรือ ฟก. ร.ล.พุทธยอดฟ้าจุฬาโลก เรือ ตกด. ชุด ร.ล.คำรณสินธุ	กฟก.1
กองเรือฟรีเกต ที่ 2	หมวดเรือที่ 1 หมวดเรือที่ 2 หมวดเรือที่ 3	เรือ ฟก.ร.ล.เจ้าพระยา, ร.ล.บางปะกง เรือ ฟก. ร.ล.กระบุรี,ร.ล.สายบุรี เรือ ฟก. ร.ล.นเรศวร, ร.ล.ตากสิน	กฟก.2
กองเรือบรรทุกเฮลิคอบเตอร์	หมวดเรือที่ 1	ร.ล.จักรีนฤเบศร	กบฮ.
กองเรือทุ่นระเบิด	หมวดเรือที่ 1 หมวดเรือที่ 2 หมวดเรือที่ 3	ไม่มีเรือประจำการ เรือ ลทฝ. ชุด ร.ล.บางระจัน,ชุด ร.ล.ลาดหญ้า เรือ กทต. ชุด ท.1 (5 ลำ), ชุด ท.6 (7 ลำ) เรือ สตท. ชุด ร.ล.ถลาง (1ลำ)	กทบ.

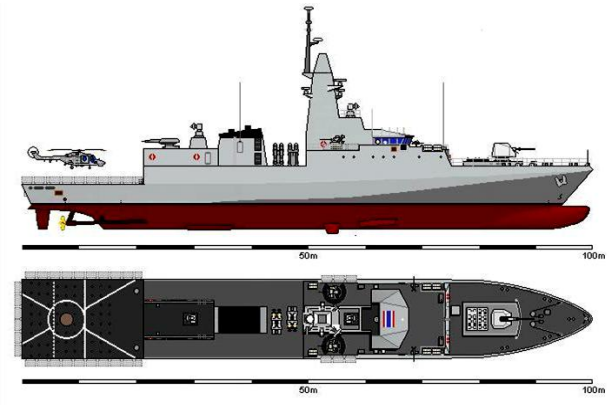
กองเรือยกพลขึ้นบกและยุทธบริการ	**หมวดเรือที่ 1** **หมวดเรือที่ 2** **หมวดเรือที่ 3**	**เรือ ยพญ. ชุด ร.ล.สีชัง (2 ลำ)** **เรือ รพญ. ชุด ร.ล.มัตโพน (2 ลำ), ชุด ร.ล.ทองแก้ว (4 ลำ), ร.ล.มันนอก (3 ลำ)** **เรือ สกญ. ร.ล.สิมิลัน** **เรือ ลลส. ร.ล.เกล็ดแก้ว** **เรือ นม. ชุด ร.ล.จุฬา, ชุด ร.ล.สมุย, เรือ นม. ชุด ร.ล.ปรง , ชุด ร.ล.เปริด (2 ลำ)** **เรือ น. ชุด ร.ล.จวง, ร.ล.จิก** **เรือ รจล. ชุด ร.ล.กลึงบาดาล (2 ลำ)** **เรือ ลจก. ชุด ร.ล.ริ้น (2 ลำ), ชุด ร.ล.แสมสาร (2 ลำ)**	**กยพ.**

4. A ship's load lines (เส้นบอกระดับบรรทุกของเรือ)

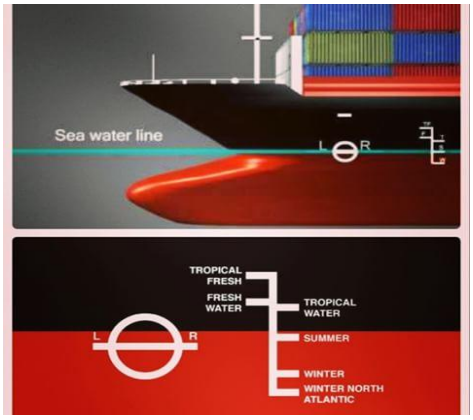
เส้นบอกระดับบรรทุกของเรือ คือ ถึงเส้นข้างเรือแสดงระดับที่อนุญาตให้ส่วนของเรือจมลงจากการบรรทุกสิ่งของ

จุดประสงค์ของแนวโหลดคือ เพื่อให้แน่ใจว่าเรือมีพื้นที่ว่างเพียงพอ (ความสูงจากแนวน้ำถึงดาดฟ้าหลัก) และมีพื้นที่ว่างสำรองที่เพียงพอสำหรับการลอยตัว โดยวัดระหว่างจุดต่ำสุดของดาดฟ้าบนสุดที่ต่อเนื่องกัน (Continuous deck) กับเส้นแนวน้ำและต้องไม่น้อยกว่าจุดที่ทำเครื่องหมายรับรองพื้นที่ว่างที่เส้นบอกระดับบรรทุกที่ออกให้กับเรือนั้น

เส้นบอกระดับบรรทุกของเรือทำไว้ในแต่ละด้านของเรือสัญลักษณ์นี้ทำไว้ให้ปรากฏอยู่อย่างถาวร เส้นบอกระดับบรรทุกของเรือช่วยให้ทุกคนสามารถตรวจสอบได้ว่าเรือมีการบรรทุกเกินขนาดหรือไม่ ในเรือพาณิชย์เรียกเส้นบอกระดับบรรทุกของเรือว่า " เครื่องหมาย Plimsoll " เดิมเป็นวงกลมที่มีเส้นแนวนอนตัดผ่านเพื่อแสดงแนวร่างสูงสุดของเรือ ปัจจุบันมีการเพิ่มเติมเครื่องหมายอื่นๆ เข้ามาเพื่อให้สามารถวัดความหนาแน่นของน้ำและสภาวะทางทะเลที่คาดการณ์ได้ เครื่องหมายนี้ถูกคิดค้นขึ้นในปีพ.ศ. 2419 โดย Samuel Plimsoll



เส้น Load line เรือรบ



เส้น Load line เรือสินค้า

บทที่ 2

ความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนตัวเรือ (Resistance and Powering of Ships)

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในการพิจารณาในการต่อเรือคือ พลังงานที่ต้องการนำมาใช้ในการขับเคลื่อนเรือ เมื่อได้กำหนดรูปร่างของตัวเรือขึ้นมาแล้วจำเป็นที่จะต้องพิจารณาหากำลังขับเคลื่อนของเรือเพื่อให้เรือสามารถที่จะปฏิบัติภารกิจได้ตามที่ต้องการ การรู้กำลังขับเคลื่อนเรือทำให้นำไปใช้ในการพิจารณาเลือกเครื่องยนต์ ขนาดของถังน้ำมันที่ต้องการ และคำนวณหาจุด CG (Center of Gravity = จุดศูนย์ถ่วง) ของเรือได้

ในประวัติศาสตร์ที่ผ่านมาในการต่อเรือนั้นมีความพยายามที่จะเพิ่มความเร็วของเรือ การเพิ่มความเร็วให้เรือรบในการเข้าประชิดหรือหลีกหนีข้าศึก การหลบหลีกการโจมตี การเพิ่มความเร็วในเรือพาณิชย์ให้เดินทางได้เร็วขึ้นเพื่อผลกำไรของผู้ประกอบการ

จนกระทั่งในยุคแรกของศตวรรษที่ 18 ลมเป็นพลังงานที่ถูกใช้ขับเคลื่อนให้เรือวิ่งไปบนผิวน้ำ และสามารถแล่นไปได้ด้วยความเร็วเท่าที่ลมทำได้ เหตุที่เรือในยุคนั้นสร้างด้วยไม้ โครงสร้างของไม้จึงเป็นข้อจำกัดในการกำหนดรูปร่างของตัวเรือเป็นอันดับแรก ในขณะที่เรื่องกลศาสตร์ของไหลเป็นเรื่องที่พิจารณารองลงมา การกำเนิดของระบบขับเคลื่อนไอน้ำในช่วงศตวรรษที่ 18 วิศวกรต่อเรือจึงได้เห็นว่าความเร็วของเรือที่ใช้ลมนั้นมีข้อจำกัด จึงเกิดการวิจัยค้นคว้าที่จะหาพลังงานชนิดใหม่มาขับเคลื่อนเรือ

การทดลองเรือจริงและเรือจำลองนั้นสามารถกำหนดความต้องการพลังขับเคลื่อนเรื่อ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความต้านทานเรือเมื่อเรือเคลื่อนที่ในน้ำได้

การพัฒนาขึ้นของโครงสร้างเรือเหล็ก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านความแข็งแรงและรูปร่างของตัวเรือจากที่เคยมีลักษณะหัวเรือและตัวเรือที่มีลักษณะเทอะทะและต้านน้ำในตอนต้นของยุคเรือใบ แต่เมื่อถึงในยุดของเรือเหล็ก การต่อเรือสามารถออกแบบเรือที่มีรูปร่างที่เพรียวขึ้นและมีความแข็งแรงมากขึ้น ผลที่ตามมาคือความเร็วของเรือที่มากขึ้นด้วย

ประมาณยุคสงครามโลก ใบจักรแบบสกรูได้ถูกพัฒนาขึ้นและก้าวมาแทนที่ใบจักรแบบวงล้อซึ่งได้มีการพัฒนาดัดแปลงเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน และยังคงใช้เป็นหลักการในการคิดระบบขับเคลื่อนเรือจนถึงปัจจุบันนี้

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบรูปแบบความต้านทานของตัวเรือ การถ่ายทอดกำลังเรือและใบจักรแบบเกลียว การตรวจสอบแบบจำลองเรือและการหาความต้านทานเรือขนาดจริงโดยการลากเรือในถังทดลอง

1. ความต้านทานของเรือ (A ship's resistance)

เมื่อต้องการเคลื่อนที่เรือที่ใดๆ ก็ตามจะเกิดแรงต้านทานต่างๆ ขึ้น โดยมันมีสิ่งจำเป็นอื่นก่อนที่จะเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้น นั่นคือแรงที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ การคำนวณค่าความต้านทาน (R) นี้ มีบทบาทสำคัญในการเลือกใบจักรที่ถูกต้องและเป็นทางเลือกของเครื่องยนต์หลัก (เครื่องจักรใหญ่)

ความต้านทานของเรือได้รับอิทธิพลอย่างมากจากความเร็วการเคลื่อนที่และรูปแบบเรือ ความต้านทานมีหลายอย่างซึ่งคิดออกมาเป็นความต้านทานรวม (R_T)ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มหลักๆ ได้ 3 กลุ่มดังนี้

1) ความต้านทานจากแรงเสียดทาน (R_F)

2) ความต้านทานที่เหลือ (นอกเหนือจากแรงเสียดทาน) (R_R)

3) ความต้านทานอากาศ(R_A)

อิทธิพลของความต้านทานจากแรงเสียดทานและความต้านทานที่เหลืออยู่ขึ้นอยู่กับสิ่งที่เรือต่ำกว่าเส้นแนวน้ำในขณะที่อิทธิพลของความต้านทานอากาศขึ้นอยู่กับว่าเรืออยู่เหนือน้ำมากน้อยเพียงใด

1.1. ความต้านทานจากแรงเสียดทาน(R_F)

ความต้านทานจากแรงเสียดทาน(R_F)ของตัวเรือขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวใต้น้ำและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานจากการเสียดทานที่เกิดขึ้นตามพื้นที่ต่างๆ(เกิดหรือเพิ่มขึ้นจากความสกปรกของตัวเรือ การเจริญเติบโตของสาหร่าย เพรียง ฯลฯ)เมื่อเรือเคลื่อนที่ผ่านน้ำความต้านทานจากแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เกือบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงเดียวกับความเร็วของเรือ

R_F เป็นส่วนสำคัญของความต้านทานของเรือซึ่งโดยส่วนมากแล้ว 70-90% ของความต้านทานรวมของเรือสำหรับเรือความเร็วต่ำและบางครั้งน้อยกว่า40% สำหรับเรือความเร็วสูง

1.2. ความต้านทานส่วนที่เหลือ (R_R)

ความต้านทานส่วนที่เหลือ (R_R)หมายถึงส่วนที่ประกอบด้วยความต้านทานจากคลื่น (Wave resistance) และความต้านทานจากการหมุนวนของกระแสน้ำ (Eddy resistance)ความต้านทานจากคลื่นหมายถึงการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากคลื่นที่สร้างขึ้นโดยเรือในระหว่างการขับเคลื่อนผ่านน้ำในขณะที่ความต้านทานต่อการหมุนวนของกระแสน้ำหมายถึงการสูญเสียที่เกิดจากการแยกการไหลซึ่งจะสร้างสิ่งกีดขวางโดยเฉพาะบริเวณส่วนปลายของท้ายเรือ

ความต้านทานของคลื่นที่ความเร็วต่ำเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วเรือแต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถ้าความเร็วเรือสูงขึ้น หมายความว่า อุปสรรคต่างๆต่อความเร็วเป็นตัวกำหนดการสนับสนุนการเพิ่มพลังการขับเคลื่อนของเรือ (ส่วนความเร็วต่ำ) แต่จะไม่มีผลในกรณีที่ใช้ความเร็วสูง

ความต้านทานส่วนที่เหลือ (R_R) คิดเป็น8-25% ของความต้านทานรวมสำหรับเรือความเร็วต่ำและได้ถึง 40-60% สำหรับเรือความเร็วสูง

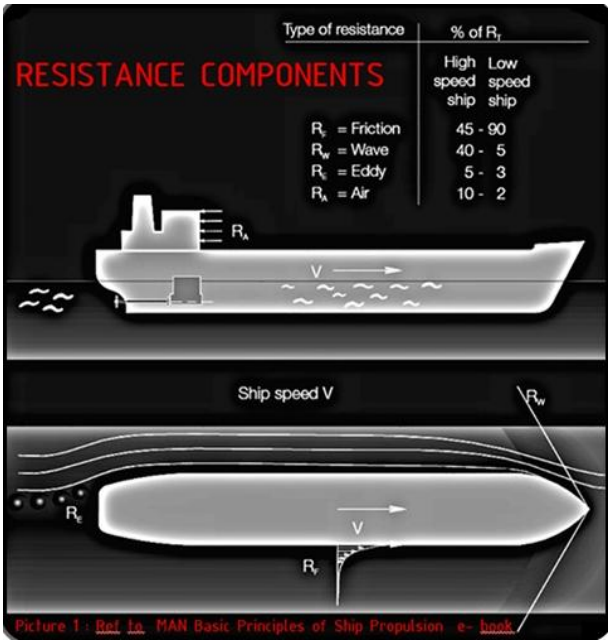
สำหรับบริเวณน้ำตื้นยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อความต้านทานที่อาจตกค้าง จากการไหลของน้ำบริเวณใต้ท้องเรือที่จะเคลื่อนที่ไปทางท้ายเรือยากลำบากมากขึ้น

ความต้านทานชนิดนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าความลึกของน้ำเป็น 10 เท่าของความลึกตัวเรือส่วนที่จมน้ำ

1.3. ความต้านทานอากาศ(R_A)

ความต้านทานอากาศ(R_A)เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วของเรือ และพื้นที่หน้าตัดทางขวางของตัวเรือที่อยู่เหนือเส้นแนวน้ำ ซึ่งมีอยู่ ประมาณ 2% ของความต้านทานรวมซึ่งอาจถึง 10% ในกรณีที่สะพานเดินเรืออยู่บริเวณด้านหัวลม (ด้านหน้าตัวเรือ) ซึ่งพิจารณาจากความกดอากาศที่เกิดขึ้นจากความเร็วที่เกิดขึ้นด้วย

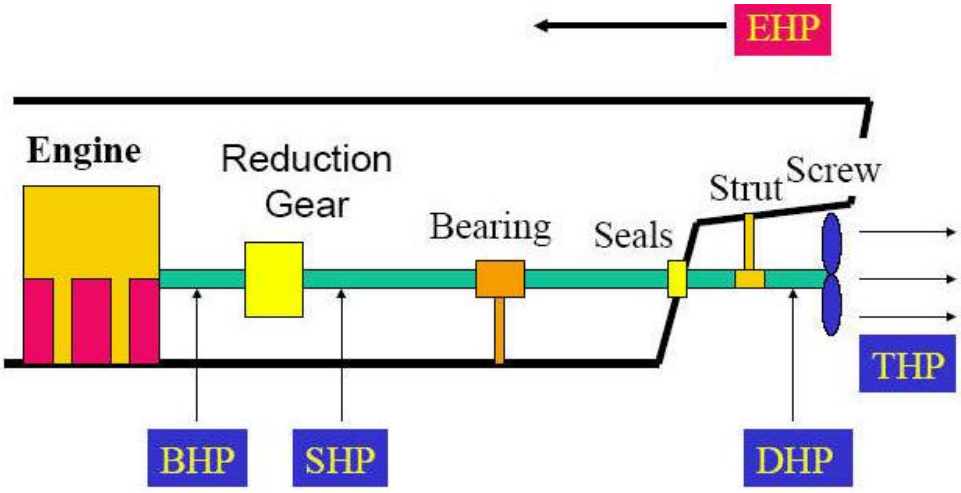
ดังนั้น การสร้างพลังงานที่ส่งไปยังใบจักรเพื่อทำให้เรือเกิดความเร็วในการเคลื่อนตัวนั้น มีองค์ 2 ประกอบ คือ สภาวะการไหลของน้ำบริเวณรอบๆใบจักร และประสิทธิภาพของตัวใบจักร



ความต้านทานแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับเรือ

2. ลำดับการขับเคลื่อนเรือ (The Ship drive train)

ก่อนจะทำการพิจารณาเกี่ยวกับความต้านทานและกำลังของเรือต้องทำความเข้าใจกับระบบการส่งผ่านกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเรือเสียก่อน



Simplified ship drive train

2.1. Brake Horsepower (BHP)

Brake Horsepower (BHP) คือกำลังที่ผลิตโดยส่วนเครื่องยนต์ของเรือซึ่งเครื่องยนต์นั้นเป็นส่วนของกระบวนการขับเคลื่อนโดยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนหลักของเรือ ส่วนใหญ่จะเป็น เครื่องกังหันไอน้ำ เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์หรือเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับเรือบางลำระบบขับเคลื่อนหลักอาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้น ความเร็วที่ได้จากเครื่องขับมักจะค่อนข้างสูง (หลายพันรอบต่อนาทีสำหรับแก๊สเทอร์ไบน์) ซึ่งจะต้องทำการลดรอบลงเพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้

2.2. Shaft Horsepower (SHP)

Shaft Horsepower (SHP) คือกำลังที่ออกมาจากระบบเกียร์ (เมื่อเข้าคลัทช์แล้ว) ระบบเกียร์ คือระบบที่จำเป็นในการลดรอบการหมุนจากเครื่องจักรใหญ่ให้ช้าลงเพื่อให้ความเร็วรอบอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ให้เพลาใบจักรสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น เครื่องกังหันไอน้ำ ที่รอบสูงสุด 5,700 rpm. ระบบเกียร์จะทำการลดรอบลงมาเป็น 258 rpm. เพื่อให้การลดรอบความเร็วระหว่างเครื่องจักรใหญ่และเพลาใบจักรเป็นไปได้โดยที่ใบจักรยังคงมีกำลังขับเคลื่อนอยู่นั้น ระบบเกียร์มักจะต้องมีขนาดค่อนข้างใหญ่และหนัก

ระบบเกียร์ที่มีประสิทธิภาพนั้น กำลังขับ (Input BHP) ที่ถูกส่งผ่าน (Output SHP) จะสูญเสียอยู่ 1-2% ความสัมพันธ์ระหว่าง BHP และ SHP เรียกว่า ประสิทธิภาพเกียร์gear efficiency (η_{gear}) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta_{gear} = \frac{SHP}{BHP}$$

* โดยที่ SHP จะมีค่าน้อยกว่า BHP เสมอ

2.3. Delivered Horsepower (DHP)

Delivered Horsepower (DHP) คือกำลังที่ถูกส่งจากเพลาสู่ใบจักรกำลังที่ถูกส่งจากเพลาสู่ใบจักร กำลังที่ถูกส่งไปสู่ใบจักรจะน้อยกว่า SHP เนื่องจากสูญเสียกำลังในระหว่างส่งกำลังจากเพลา กำลังจะสูญเสียประมาณ 2-3 % ซึ่งเกิดจาก Bearing, Stern Tube , Seal และ Strut Bearing

Thrust Bearing จะรองรับบริเวณเพลาใบจักรโดยการหมุนของเพลาใบจักร และส่งผ่านกำลังตามแนวแกนเพลาใบจักรสู่ตัวเรือ แนวของ bearing รองรับเพลาจะถูกใช้ในการรองรับน้ำหนักของเพลาใบจักรช่วงระหว่างระบบเกียร์และ Stern Tube ซึ่ง Stern Tube และ Seal เป็นอุปกรณ์สำคัญที่จะช่วยกันไม่ให้น้ำทะเลรั่วเข้าสู่ภายในเรือ

กำลังที่สูญเสียส่วนใหญ่มาจากการเสียดสี ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นใน Bearing ความสัมพันธ์ของ Delivered Horsepower (DHP) และ Shaft Horsepower (SHP) เรียกว่า Shaft Transmission Efficiency (η_{shaft})

เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta_{shaft} = \frac{DHP}{SHP}$$

2.4. Thrust Horsepower (THP)

Thrust Horsepower (THP) คือกำลังที่ผลิตได้โดยใบจักร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า DHP (THP < DHP) ใบจักรคือส่วนประกอบที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในระบบการส่งกำลังขับของเรือ DHP และ THP มีความสัมพันธ์กันเชิงปริมาณ ซึ่งเรียกว่า Propeller Efficiency (ประสิทธิภาพใบจักร) ใบจักรที่ออกแบบที่ดีจะมีส่วนในการทำความเร็วของเรือ 70 -75 % ในการออกแบบความเร็วเรือ

BHP > SHP > DHP > THP > EHP

Effective Horsepower (EPH)

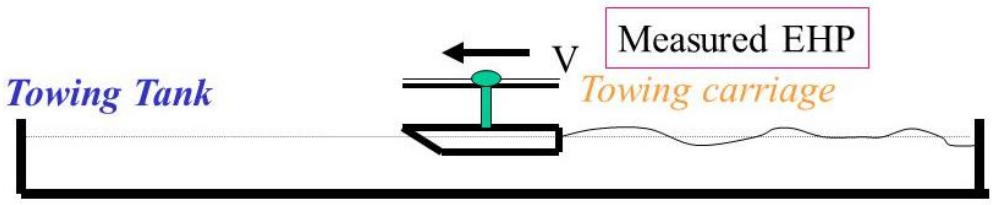
2.5. Effective Horsepower (EHP)

กำลังงานต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น (BHP , SHP , DHP) เป็นกำลังที่สามารถวัดออกมาเป็นค่าได้ภายในเรือ อย่างไรก็ตามแรงเหล่านี้ไม่ได้ใช้ในการออกแบบตัวเรือในขั้นตอนแรกๆ SHP และ BHP เป็นปริมาณของพลังงานที่ถูกผลิตโดยเครื่องยนต์ ซึ่งเหมือนกับแรงผลักที่เกิดจากใบจักรซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการวิเคราะห์และการคำนวณ อย่างไรก็ตาม สถาปนิก (นักออกแบบ) เรือยังคงต้องตัดสินใจเกี่ยวกับพลังงาน (SHP, BHP) ที่ต้องการจริงในการขับเคลื่อนเรือบนผิวน้ำ ซึ่งกำลังเหล่านี้ถูกพิจารณาผ่านแนวความคิดของ Effective Horsepower (EHP)

คำจำกัดความของ Effective Horsepower (EHP) คือ

“แรงม้าที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อนตัวเรือ ณ ความเร็ว ที่ได้รับจากการกระทำจากใบจักร”

EHP ถูกพิจารณาด้วยข้อมูลจากเรือทดลองที่ทำการทดลองลากจูงใน Towing Tank ในการทดลองเรือทดลองนั้นจะลากเรือบนผิวน้ำ ขณะเดียวกันจะวัดแรงต้านทานของตัวเรือที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเรือทดลอง



ความต้านทานที่ได้สามารถนำมาหาค่าความต้านทานของเรือจริงได้จากสเกลระหว่างเรือทดลองกับเรือจริง ค่า EHP สามารถหาได้จากสูตร

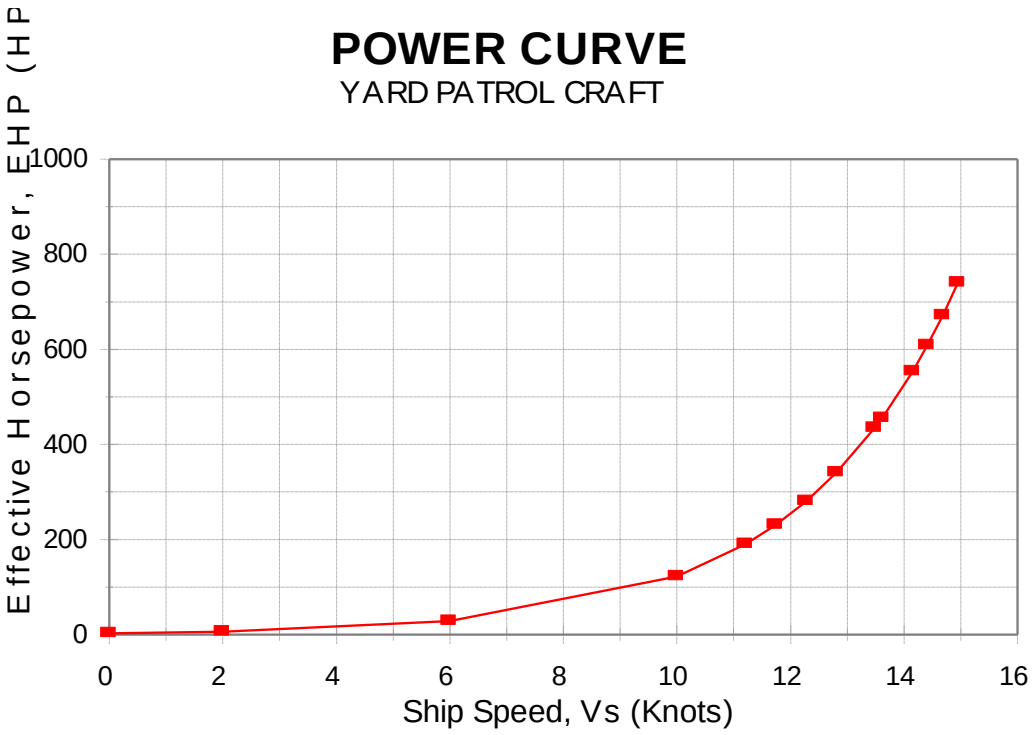
$$EHP = \frac{R_T V}{550 \frac{ft - lb}{\sec - HP}}$$

โดย EHP = effective horsepower (EHP) HP

R_t = แรงต้านทานรวมของเรือ (lb)

V_s = ความเร็วเรือ (ft/sec)

เรือที่ใช้ในการทดลองถูกทดสอบในช่วงต่างๆเพื่อเก็บข้อมูลความต้านทานตัวเรือ ค่า EHP เมื่อคำนวณและนำมาพล็อตจะได้ดังกราฟต่อไปนี้



Curve of effective Horsepower (EPH)

2.6. Hull Efficiency

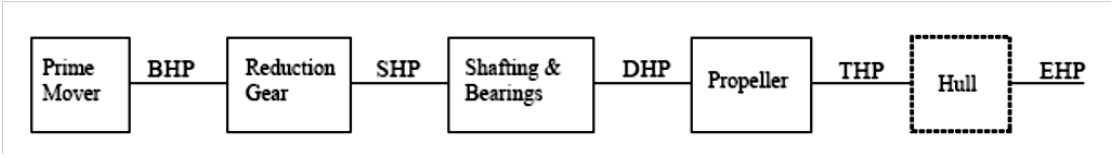
ในเรือลำหนึ่งค่า EHP จะถูกนำมาคำนวณค่ากำลังที่ผลิตโดยระบบขับเคลื่อนจะมีความสัมพันธ์กับกำลังที่ต้องใช้ในการขับเรือบนผิวน้ำและกำลังที่ใบจักรควรผลิตได้ (THP) โดยอัตราส่วนระหว่าง EHPและ THP เรียกว่าประสิทธิภาพตัวเรือ (Hull Efficiency (η_H))

η_H =EHP /THP

2.7. Propulsive Efficiency

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ในการลากเรือในน้ำ (EHP) และกำลังที่ใบจักรผลิตได้ (THP) คือประสิทธิภาพตัวเรือ (Hull efficiency) ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหา brake horsepower ที่เรือต้องการได้

จากรูป แสดงส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนและกำลังที่เกี่ยวเนื่องกันของแต่ละส่วน ซึ่งช่วยในการคำนวณหา SHP และ BHP



Block diagram of a ship's drive train

แทนที่จะหาประสิทธิภาพรวมโดยการหาประสิทธิภาพย่อยแต่ละส่วน สามารถรวมเป็นประสิทธิภาพเพียงค่าเดียว เรียกว่า "propulsive efficiency (η_p)" หรือ "propulsive coefficient (PC)"

$$\eta_P = PC = \frac{EHP}{SHP}$$

Propulsive efficiency คืออัตราส่วนของ effective horsepower และ shaft horsepower ดังนั้น ค่าที่ยอมรับได้นั้นสามารถคำนวณได้โดยตรงจาก shaft horsepower ที่เรือต้องการ ซึ่งค่าปกติของ propulsive efficiency จะอยู่ที่ 55 – 75 %

ตัวอย่างที่ เรือจำลองมี EHP 30,000 HP ที่ความเร็ว 19 น๊อต สมมุติให้ propulsive efficiency 70% จงหา SHP ที่ความเร็ว 19 น๊อต

$$\eta_P = \frac{EHP}{SHP}$$

$$SHP = \frac{EHP}{\eta_P} = \frac{30{,}000HP}{0.70}$$

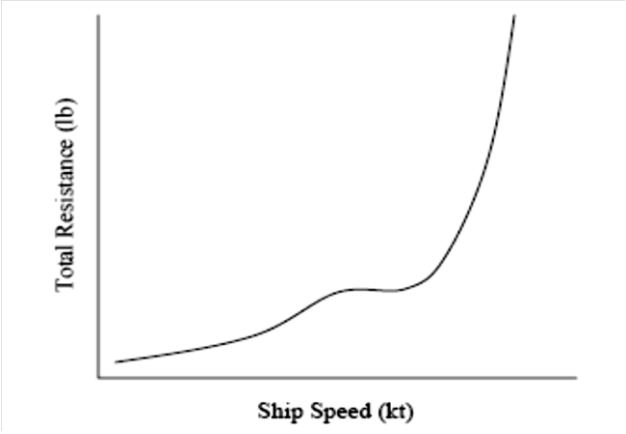
$$SHP = 42{,}860HP$$

คำตอบ แรงม้าทั้งหมดที่ทำให้เรือมีความเร็ว 19 น๊อต เท่ากับ 42,860 HP (43,000 HP)

ซึ่งค่าของ shaft horsepower ที่คำนวณได้และส่วนต่าง ๆ ของ prime movers ต้องพิจารณาเกี่ยวกับกำลังที่ผลิตได้ น้ำหนัก ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและปัจจัยอื่น ๆ ด้วย

2.8. Total Hull Resistance (R_T)

เมื่อเรือเคลื่อนที่ไปในน้ำนิ่ง แรงที่กระทำตรงข้ามทิศทางการเคลื่อนที่หรือแรงต้านทานของน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้านทานรวมของตัวเรือ (Total Hull Resistance ; R_T) แรงต้านทานนี้ใช้ในการคำนวณ effective horsepower ความต้านทานของเรือในน้ำนิ่งมีผลจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วเรือ ตัวเรือ (draft , beam , length , พื้นที่ใต้แนวน้ำ) และอุณหภูมิน้ำ ความต้านทานรวมของตัวเรือจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเรือ ดังนั้นกำลังงานที่เรือต้องใช้ในการขับเคลื่อนมีผลจากความต้านทานรวมของตัวเรือและความเร็วเรือ



Typical curve of total hull resistance

สำหรับเรือที่ต้องการเดินทางจากจุด A ไปยังจุด B โดยใช้เวลาน้อยที่สุด (ความเร็วสูง) ต้องการกำลังงานมากกว่าการเดินทางในระยะทางเท่ากันโดยใช้ความเร็วน้อยกว่า กำลังงานที่เพิ่มขึ้นจึงต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นตามไปด้วย กราฟอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะคล้ายกับกราฟของแรงม้าและความต้านทานรวมของตัวเรือ ดังนั้นแผนการเดินทางของเรือต้องระมัดระวังในเรื่องความเร็วเดินทางและอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อให้มั่นใจว่าเรือสามารถไปถึงจุดหมายปลายทางได้ด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในเรือ โดยทั่วไปกองทัพเรือสหรัฐอเมริกาต้องการให้เรือถึงจุดหมายปลายทางโดยมีน้ำมันเชื้อเพลิงคงเรือไม่น้อยกว่า 50%

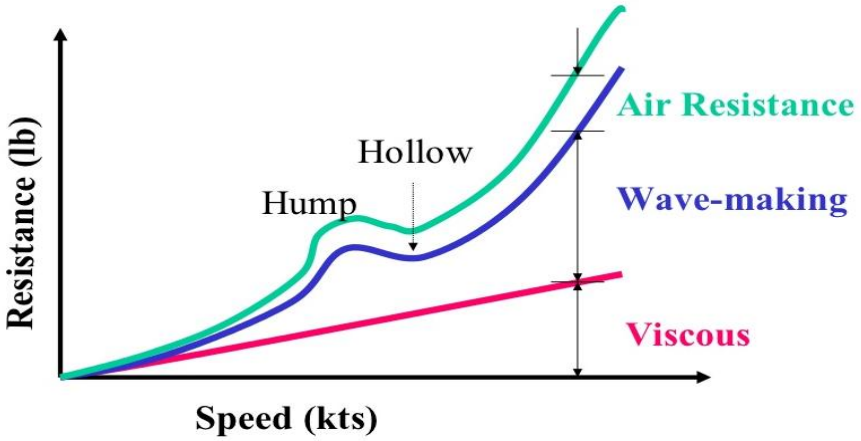
3. องค์ประกอบของความต้านทานรวมของตัวเรือ

การที่เรือเคลื่อนที่ไปในน้ำนิ่ง จะมีตัวแปรต่างๆ มากมาย ซึ่งเป็นแรงต้านทานที่มากระทำกับตัวเรือ ตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทานเรือได้แก่ แรงเสียดทานและความหนืดของน้ำ, พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นจากคลื่นหัวเรือท้ายเรือ, ความต้านทานจากอากาศ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R_T = R_V + R_W + R_{AA}$$

Where: R_T = total hull resistance
R_V = viscous (friction) resistance
R_W = wave making resistance
R_{AA} = resistance caused by calm air

กราฟด้านล่างแสดงให้เห็นว่าแต่ละองค์ประกอบของความต้านทานจะแปรผันตามความเร็วเรือ ที่ความเร็วต่ำความต้านทานจากความหนืดจะมีผลมาก ที่ความเร็วสูงกราฟความต้านทานรวมของตัวเรือจะชันมากขึ้น เนื่องจากผลของความต้านทานจากคลื่น



- Speed : Knot (1 Knot = 1.688 ft/sec)
- Low speed : Viscous R
- Higher speed : Wave – making R
- Hump (Hollow) : location is function of ship length and speed

Components of Total Hull Resistance

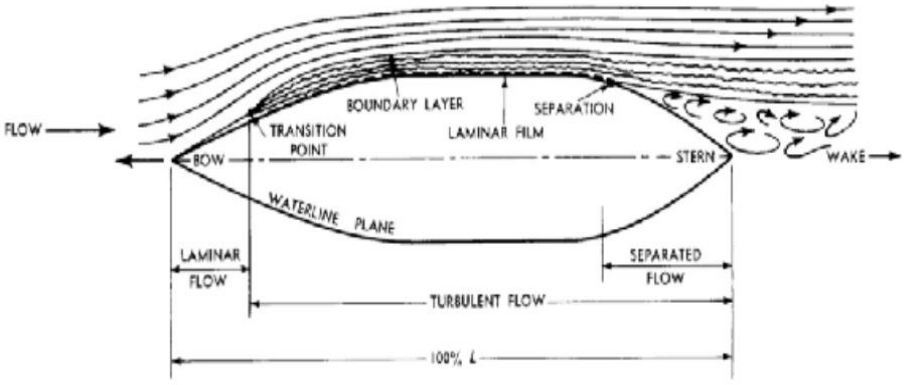
3.1. ความต้านทานจากความหนืด (Viscous Resistance , R_V)

เมื่อเรือแล่นในน้ำ ความต้านทานจะกระทำกับพื้นที่ผิวเปียกของเรือในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของเรือ เป็นความต้านทานที่เกิดขึ้นกับผิวเปียกของตัวเรือซึ่งประกอบไปด้วยความขรุขระของเปลือกเรือและความหนืดของน้ำ ความหนืดนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของของไหลเป็นหลักและองค์ประกอบของของไหล เช่นน้ำเชื่อมมีความหนืดมากซึ่งยากต่อการที่จะเคลื่อนที่ผ่านในทางตรงกันข้ามแอลกอฮอล์มีความหนืดน้อยมากซึ่งแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

ถึงแม้ว่าน้ำจะมีความหนืดต่ำแต่น้ำก็เป็นตัวการสำคัญในการต้านการเคลื่อนที่ของเรือ ซึ่งในความเป็นจริงความต้านทานที่เกิดจากน้ำนั้นคิดเป็นร้อยละ 85 ของความต้านทานของตัวเรือเมื่อเรือใช้ความเร็วต่ำๆ (Fn< 0.12, Speed-to-Length Ratio < 0.4) และร้อยละ 45 - 50 เมื่อใช้ความเร็วสูง

ในทางวิศวกรรมต่อเรืออธิบายผลกระทบจากความหนืดของน้ำที่ไหลผ่านตัวเรือว่าเป็นส่วนหนึ่งของความต้านทาน ซึ่งความจริงแล้วความต้านทานเนื่องจากความหนืดนั้นยังประกอบด้วยกำลังดันของน้ำรอบๆตัวเรือตลอดจนกระแสน้ำวนที่เกิดขึ้นด้วย

ของไหลที่ไหลผ่านตัวเรือนั้นสามารถแยกออกเป็นการไหลได้สองแบบคือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบหมุนวนปั่นป่วน (Turbulent flow)



Coefficient of Viscous Resistance

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) จะเกิดกับพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบและมีความต้านทานต่ำ เรือทั่วๆไปจะเกิดการไหลแบบราบเรียบเป็นระยะสั้นๆจากทางหัวเรือ และเริ่มลดลงเริ่มหมุนวนและผสมกันกลายเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) บริเวณที่การไหลทั้งสองแบบรวมกันนี้เรียกว่า Transition Point

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) จะเกิดต่อจากการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ตลอดแนวการเคลื่อนที่ของเรือ ย่านของการไหลแบบนี้เรียกว่า Boundary Layer โมเลกุลของน้ำที่อยู่ติดกับผิวเปลือกจะถูกลากติดไปตามเรือเนื่องจากการเคลื่อนที่ของเรือ ซึ่งจะที่ให้เกิดการแบ่ง Boundary Layer ความหนาของ Boundary Layer นั้นคือจากเปลือกตัวเรือจนถึงบริเวณด้านนอกของการเกิด Turbulent Flow และจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของตัวเรือ

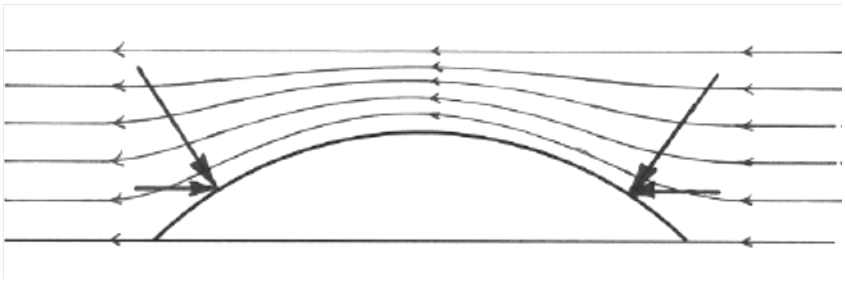
เมื่อนำเรือออกจากท่าหรือเรือใช้ความเร็วต่ำๆจะสามารถสังเกตเห็น Boundary Layer ได้ชัดเจนโดยสังเกตจากพลิ้วน้ำข้างกราบจะเห็นฝอยน้ำแตกกระจายเป็นฟองสีขาว เมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นความหนาของ Boundary Layer ก็จะเพิ่มมากตามไปด้วยและการเกิดจะเลื่อนไปทางหัวเรือมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เรือมีความต้านทานมากขึ้นเช่นกัน

3.2. Separation Resistance

ในช่วงของการเกิด Boundary Layer จะสังเกตเห็นว่า บางจุดของ Boundary Layer แยกออกจากตัวเรืออย่างเห็นได้ชัด ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเกิดขึ้นบริเวณท้ายเรือตามความโค้งของตัวเรือ ช่องว่างระหว่าง Boundary Layer และด้านนอกจะเกิด Eddie Current ขึ้นหรือที่เรียกว่า Ship's Wake และผลกระทบจากความหนืด ซึ่งผลกระทบดังกล่าวมีผลทำให้ความต้านของเรือเพิ่มขึ้นด้วย ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า Separation Resistance การเกิด Separation Point คือจุดที่เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิด Separation Resistance มีผลเนื่องมาจากการออกแบบตัวเรือโดยปกติแล้วจะเกิดบริเวณที่เรือมีการเปลี่ยนรูปทรงใต้แนวน้ำอย่างรวดเร็ว ถ้าเรือมีรูปทรงสม่ำเสมอท้ายเรือตัด (Transom Stern) มักจะเกิดที่ท้ายเรือ

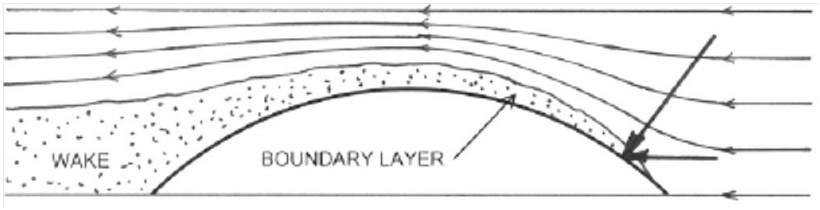
3.3. Viscous Pressure Drag

ในหัวข้อก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงความต้านที่เกิดจากความหนืด (Viscous Resistance) ว่าเป็นประเภทหนึ่งของแรงเสียดทานที่กระทำต่อตัวเรือ ยังมีอีกส่วนของความต้านทานที่เกิดจากความหนืด (Viscous Resistance) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกำลังดันตามความลึกของน้ำ ที่กระทำต่อตัวเรือในส่วนที่จมโดยสมบูรณ์ (ในกรณีที่เรือแล่นในของไหลในอุดมคติ (ไม่มีความหนืด (In viscid Fluid)) เมื่อของไหลไหลผ่านรอบๆ ตัวเรือจะมีกำลังดันของกระทำโดยรอบตัวเรือ ในส่วนด้านหัวเรือจะเป็นแรงดันต้านการเคลื่อนที่ (Component Of Pressure Resistance) ด้านท้ายเรือจะเกิดแรงดันตัวเรือไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือ (Component Of Pressure Assistance) ซึ่งในทางอุดมคติแล้วถือว่าสองแรงนี้หักล้างกันหมดไป



Component of Pressure Resistance / Assistance

อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วเรือไม่ได้แล่นในของไหลอุดมคติดังนั้นความดันทั้งด้านหน้าและด้านหลังจึงแตกต่างกันมาก รอบๆวัตถุที่จมน้ำจะเกิดการไหลแบบ Turbulent Flow และเกิด Wake ทางด้านหลังของวัตถุจะเกิดแรงดันหักร้างกับแรงดันต้านการเคลื่อนที่ทางด้านหน้าเช่นกันแต่น้อยมาก จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความต้านทานมากขึ้นเรียกว่า Viscous Pressure Drag หรือ Form Drag



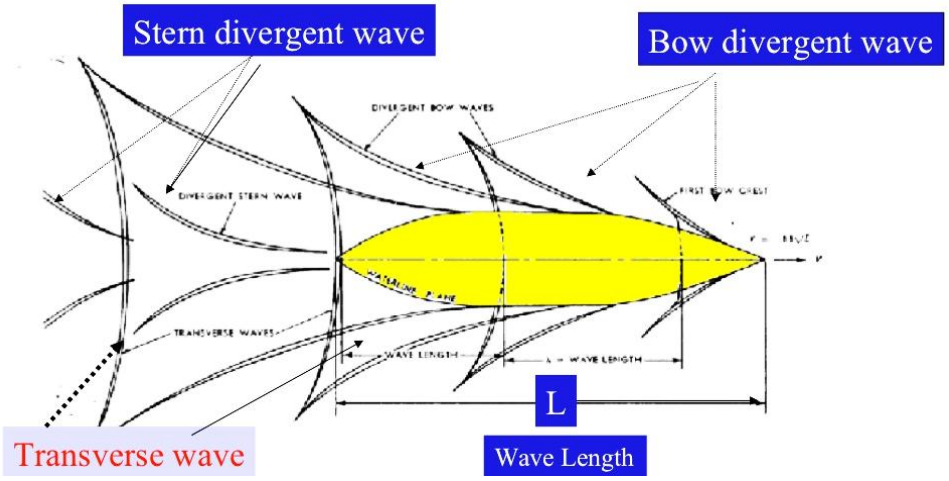
Viscous Pressure Drag

อย่างไรก็ดีเรือที่มีสัดส่วนความยาวต่อความกว้าง (Length to Beam ratio) น้อยจะมีความต้านทานประเภทนี้น้อยกว่าเรือที่มีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างมาก โดยเฉพาะเรือที่มีหน้าตัดทางขวางหรือหัวเรือกว้างๆจะมีความต้านทานมากกว่าเรือที่มีหัวเรือแบบลู่น้ำ

ดังนั้น หากต้องการให้ค่าความต้านทานเนื่องจากตัวเรือมีค่าลดลง จะต้องทำให้เรือยาวมากขึ้นและกว้างน้อยลง รวมถึงทำให้มีปริมาตรลดลงด้วย อย่างไรก็ตามโครงสร้างตัวเรือดังกล่าวไม่เหมาะกับเรือที่ใช้ในการขนส่งกำลังพลยุทโธปกรณ์หรือสินค้า สถาปนิกทางด้านการต่อเรือจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับภารกิจของเรือแต่ละชนิดต่อไป

3.4. Wave Making Resistance (R_W)

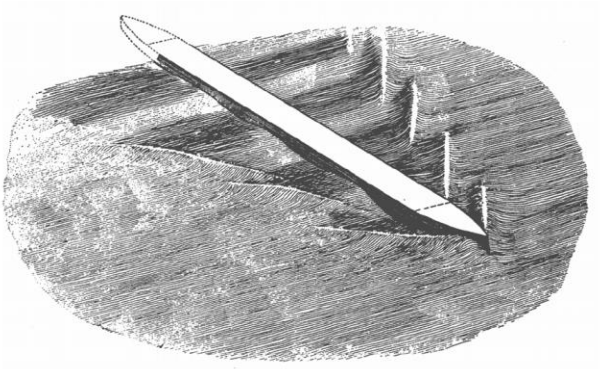
ส่วนประกอบที่สำคัญส่วนที่สองของแรงเสียดทานที่เกิดกับตัวเรือ คือการเกิดคลื่นอันเนื่องมาจากตัวเรือ เมื่อเรือแล่นไปในน้ำย่อมทำให้เกิดคลื่นแพร่กระจายออกจากหัวเรือและท้ายเรือ ซึ่งคลื่นที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือคลื่นที่แตกออกไป (Divergent) และคลื่นตามขวาง (Transverse)



Typical Wave Patterns

William Frude (1810-1878) เป็นบุคคลซึ่งค้นคว้าเกี่ยวกับการเกิดคลื่นจากเรือ ผลของการค้นคว้าของเขายังคงใช้มาจนถึงปัจจุบัน Frude ได้วาดภาพการเกิดคลื่นจากเรือไว้ในปี 1877 และสามารถนำภาพของ Frude เปรียบเทียบกับภาพที่ถ่ายจากของจริงจะเห็นได้ว่ามีความคล้ายกัน คลื่นทางขวางจะเป็นคลื่นที่ส่งผลต่อการเสียดทานของตัวเรือ สามารถประมาณได้ว่า ความเร็วของคลื่นทางขวางที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับความเร็วเรือ ในขณะที่เรือใช้ความเร็วต่ำความยาวของคลื่นทางขวางจะสั้น และจะมีจำนวนยอดคลื่นมาก

Actual ship of a characteristic wave train for ships (U.S.Navy

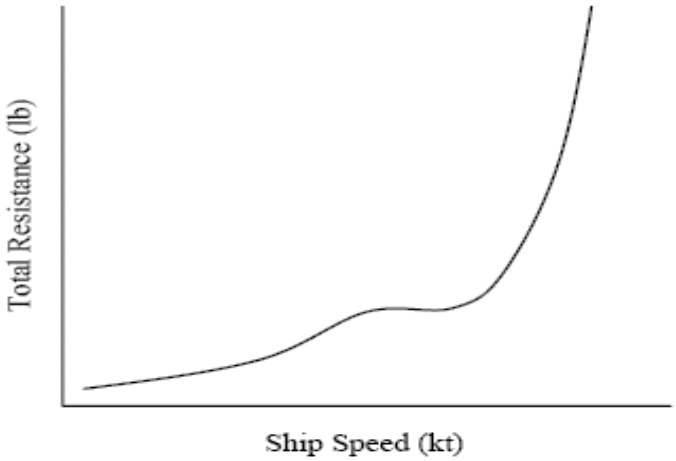


Froude's sketch of a characteristic wave train for ships

Transverse wave pattern along the hull of a replenishment ship (U.S. Navy photo)

ในการเกิดคลื่นนั้นจะต้องใช้พลังงาน เมื่อความเร็วของเรือเพิ่มขึ้นความสูงของคลื่นจะสูงขึ้น แสดงว่าพลังงานที่ใช้ในการสร้างคลื่นนั้นสูงขึ้นด้วย พลังงานที่เรือสูญเสียให้กับการสร้างคลื่นเหล่านี้ เป็นส่วนที่มีผลต่อความเร็วของเรือ ซึ่งเรียกพลังงานส่วนที่เสียไปนี้ว่า wave making resistance ซึ่งเป็นค่าที่มีเป็นข้อจำกัดของความเร็วเรือ

เรือที่แล่นจะเกิดคลื่นที่หัวเรือและท้ายเรือ ความเร็วของเรือที่เพิ่มขึ้นไม่เพียงจะเกิดความสูงของคลื่นแต่จะมีความยาวคลื่นเกิดขึ้นด้วย ที่บางความเร็วคลื่นที่เกิดจากหัวเรือและท้ายเรือจะมีการเสริมกัน wave making resistance จะเพิ่มมากขึ้นด้วยและที่บางความเร็ว wave making resistance จะลดลงเนื่องจากความสูงของคลื่นลดลง เรือที่ต้องการความเร็วมากๆ จะมี wave making resistance เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



Typical curve of total hull resistance

จากการทดลองจะพบว่าเมื่อความยาวคลื่นมีค่าเข้าใกล้ความยาวเรือจะมีส่วนทำให้ wave making resistance เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เรือที่ได้รับผลกระทบจาก wave making resistance แสดงให้เห็นดังตัวอย่างด้านล่าง

เรือ FFG-7 มีความยาวแนวน้ำ 408 ฟุตและใช้เครื่องยนต์ gas turbine ให้กำลังประมาณ 41,000 SHP มีความเร็วสูงสุด 29 น๊อต ที่ความเร็วประมาณ 27 น๊อต ความยาว transverse wave มีค่าประมาณความยาวตัวเรือ เรือลำนี้ใช้เครื่อง gas turbine 1 เครื่อง (20,000 SHP) สามารถมีความเร็วได้ถึง 25 น๊อต ถ้าเพิ่มกำลังอีก 20,0002 SHP (เพลาคู่) จะเพิ่มความเร็วได้อีกแค่ 4 น๊อต ซึ่งในการเพิ่ม horsepower เป็นผลกระทบโดยตรงของ wave making resistance

4. การลด Wave Making Resistance

ในการออกแบบเรือจะมีอยู่ 2 วิธีที่สามารถลดผลกระทบของ Wave Making Resistance ดังนี้

4.1.การเพิ่มความยาวของเรือ คือ ให้ความยาวของเรือมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงความยาวของคลื่นที่ความเร็วที่ทำให้เกิด Wave Making Resistance จะเป็นการลด wave making resistance

จากที่กล่าวมาแล้วความเร็วที่ความยาวคลื่นใกล้ความยาวเรือ สำหรับเรือ FFG-7 (Lpp = 408 ft, ระวางขับน้ำ 4,000 LT, ให้กำลัง 41,000S HP) ทำความเร็วได้ประมาณ 27 น๊อต เปรียบเทียบกับความเร็วที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงความยาวเรือสำหรับเรือบรรทุกเครื่องบิน (L = 1,090 ft , ระวางขับน้ำ 97,000 LT, ให้กำลังประมาณ 280,000 SHP) ทำความเร็วได้ประมาณ 44 น๊อต ที่ความเร็วสูงสุดของเรือ FFG คือ 29 น๊อต เรือบรรทุกเครื่องบินยังคงรักษาระดับของกราฟความต้านทานต่อ SHP เป็นการยากที่จะทำให้กำลังของระบบขับเคลื่อนเพียงพอกับตัวเรือ (ความยาว , น้ำหนัก, เชื้อเพลิง, center of gravity concern (CG)) ที่จะเพิ่มความเร็วให้กับเรือ FFG-7 ให้เท่ากับเรือบรรทุกเครื่องบิน จะเห็นได้ว่า เรือที่ยาวกว่าแล้วใช้เครื่องยนต์ที่เล็กแล้วทำความเร็วได้เท่ากับเรือที่มีความยาวน้อยกว่า อีกนัยหนึ่งคือเรือบรรทุกเครื่องบินมีแรงม้าต่อตัน (horsepower per ton) 2.9 HP/LT มีความเร็ว 30 น๊อต ซึ่งน้อยกว่าเรือ FFG-7 ซึ่งมีแรงม้าต่อตัน 10.3 HP/LT แต่ได้ความเร็วความเร็ว 29 น๊อต

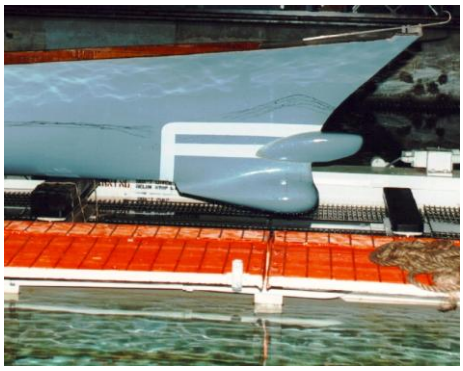
เรือ FFG-7 มีอัตราส่วนความเร็วต่อความยาวเท่ากับ 1.4 คือสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปรียบเทียบกับที่ความเร็ว 30 น๊อต

เรือบรรทุกเครื่องบินมีอัตราส่วนความเร็วต่อความยาวเท่ากับ 0.9 จะพบว่าเรือบรรทุกเครื่องบินมีสัมประสิทธิ์ความต้านทานน้อยกว่าและต้องการแรงม้าต่อตันของระวางขับน้ำน้อยกว่าที่ความเร็วเท่ากับเรือ FFG-7

4.2.Bulbous Bow เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ใช้ลดความต้านทานของเรือ โดยการลดขนาดของคลื่นบริเวณหัวเรือให้มีขนาดเล็กลง อุปกรณ์นี้ถูกพัฒนาโดย พลเรือตรี David Taylor และถูกนำมาใช้งานเมื่อต้นปี ค.ศ. 1907 บนเรือ USS DELAWARE หลักการทำงานของ Bulbous Bow คือการสร้างคลื่นอีกลูกหนึ่งที่มีเฟสตรงข้ามกับคลื่นที่หัวเรือ ผลที่ได้คือ

คลื่นที่หัวเรือจะมีขนาดเล็กลงหรือแทบจะไม่มีเลย การออกแบบ Bulbous Bow เพื่อใช้กับเรือสินค้าจะช่วยลดความต้านทานรวมของเรือได้สูงกว่า 15 % ซึ่งทำให้ประหยัดต้นทุนในการขนส่งและได้กำไรมากขึ้น

มีการออกแบบสร้าง Bulbous Bow เพื่อใช้กับเรือรบเช่นเดียวกัน ส่วนใหญ่จะใช้เป็นที่ติดตั้งโดมโซนาร์ ใช้ในการแพร่คลื่นเสียงใต้น้ำ ช่วยลดความต้านทานรวมของเรือรบและประหยัดเชื้อเพลิงได้บางส่วน แต่เรือรบส่วนใหญ่จะไม่ได้ใช้ประโยชน์ของ Bulbous Bow อย่างเต็มที่เพราะเรือรบจะมุ่งเน้นในเรื่องของความเร็วในการปฏิบัติภารกิจ ส่วนเรือสินค้านั้นจะใช้ความเร็วคงที่ในการเดินทาง ซึ่งแตกต่างจากเรือรบที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วบ่อยครั้งตลอดการปฏิบัติภารกิจ



Bulbous Bow

5. ความต้านทานจากอากาศ (Air Resistance , R_{AA})

ความต้านทานจากอากาศ คือความต้านทานที่เกิดจากอากาศภายนอกตัวเรือซึ่งไม่ได้เกิดจากลม แต่เกิดจากโครงสร้างตัวเรือเหนือแนวน้ำ, พื้นที่ตัวเรือที่ต้านอากาศ และความความเร็วของเรือ โดยทั่วไปเรือขนาดเล็กจะมีความต้านทานจากอากาศน้อยกว่าเรือขนาดใหญ่ โดยมีขนาดของความต้านทานคิดเป็น 4 – 8 % ของความต้านทานเรือรวม แต่อาจจะมากกว่า 10 % ในเรือที่มีความสูงเหนือแนวน้ำมากๆ เช่น เรือบรรทุกเครื่องบิน การลดความต้านทานจากอากาศนั้นทำได้โดยออกแบบโครงสร้างตัวเรือเหนือแนวน้ำให้มีลักษณะลู่ลมซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านการประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย

6. ความต้านทานอื่นๆ ที่ไม่ได้เกิดจากตัวเรือ

นอกเหนือความต้านทานจากความหนืด, คลื่น และอากาศแล้ว ยังมีความต้านทานอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความต้านทานของเรือดังนี้

6.1.ความต้านทานจาก Appendage (Appendage Resistance)

เกิดจากลักษณะโครงสร้างที่อยู่ใต้แนวน้ำ เช่น ใบจักร, เพลาใบจักร, สตรัท, หางเสือ, กระดูกงู(ปีก) และSea chest

6.2.ความต้านทานจากระบบหันเลี้ยว (Steering Resistance)

เกิดจากการทำงานของหางเสือ ขณะที่หางเสือทำงานจะทำให้เกิดแรงต้านเพิ่มขึ้น แต่ความต้านทานจากระบบหันเลี้ยวของเรือถือว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานที่เกิดจากตัวเรือทั้งในเรือรบและเรือสินค้า

6.3.ความต้านทานจากลมและกระแสน้ำ (Wind and Current Resistance)

ลมและกระแสน้ำเป็นอีก 2 ปัจจัยใหญ่ที่มีผลต่อความต้านทานของเรือ ความเร็วและทิศทางของลมมีผลต่อการเดินเรือ เมื่อปะทะกับลมซึ่งมีความเร็ว 20 น็อต จะทำให้ความต้านทานของเรือเพิ่มขึ้น 25 – 30 %

กระแสน้ำในมหาสมุทรมีผลกับกำลังของเครื่องยนต์เพื่อที่จะรักษาความเร็วเดินทางให้คงที่ เช่น กระแสน้ำ Kuroshio ซึ่งไหลจากทางใต้ไปทางเหนือของชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น มีความเร็ว 4 -5 น็อต ถ้าต้องการเดินทางที่ความเร็ว

15 น๊อต จะต้องใช้กำลังของเครื่องเทียบเท่าความเร็ว 18 – 19 น๊อต เพราะฉะนั้น ชาวเรือจึงมีการวางแผนการเดินทางเพื่อหลีกเลี่ยงกระแสน้ำในมหาสมุทร

6.4.ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากคลื่น (Added Resistance Due to Waves)

ลมและพายุจะทำให้คลื่นในมหาสมุทรมีความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เรือสูญเสียพลังงานที่ใช้ต้านความหนืด และอาการโคลงของเรือทั้งตามยาวและขวาง ซึ่งความต้านทานชนิดนี้จะมีผลมากในสภาวะทะเลที่ไม่สงบ

6.5.ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นขณะอยู่ในที่ตื้น (Increased Resistance in Shallow Water)

เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- เมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วสูงในน้ำตื้น ความต้านทานจากความหนืด (Viscous Resistance) ของเรือจะมีค่าสูงขึ้น
- เมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วสูงในน้ำตื้น แรงดันของน้ำใต้ท้องเรือจะลดลง เป็นสาเหตุให้เรือกินน้ำลึกมากขึ้นและติดตื้นได้, เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวเปียกของตัวเรือและความต้านทาน ความฝืด (Frictional Resistance) ให้สูงขึ้น
- เมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วเดียวกัน คลื่นที่เกิดในน้ำตื้นจะมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นในน้ำลึก ซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานจากคลื่นมากขึ้น เพราะฉะนั้นควรใช้ความเร็วต่ำในน้ำตื้น เพื่อเป็นการลดค่าความต้านทานรวมของเรือ

7. ความต้านทานและวิธีการปฏิบัติต่อความต้นทานของเรือ

วิธีการปฏิบัติที่ง่ายที่สุดในการลดความต้านทานของเรือ คือการรักษาตัวเรือให้สะอาดไม่ให้มีเพรียง ซึ่งความต้านทานเรือนั้น เป็นผลเนื่องมาจากพื้นผิวหน้าที่ขรุขระและสิ่งสกปรกที่เกาะติดอยู่กับตัวเรือ เป็นผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 15% การรักษาตัวเรือใต้แนวน้ำให้สะอาดช่วยลดความขรุขระของพื้นผิวเรือได้ ซึ่งจะช่วยลดความเสียดทานและประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง กองทัพเรือต้องการที่จะให้เรือของในกองเรือได้ผ่านการตรวจสอบและทำความสะอาดเพื่อที่จะลดความขรุขระของผิวหน้า การนำเรือเข้าอู่แห้งจะมีการทำความสะอาดพื้นผิวใต้แนวน้ำและทาสีใหม่เพื่อที่จะคืนสภาพพื้นผิวให้เรียบเหมือนเดิม

การใช้เครื่องที่ความเร็วมัธยัสถ์จะช่วยลดความต้านทานเรือ ผู้นำเรือควรเปลี่ยนความเร็วให้ห่างเส้นโค้งความเสียดทาน ความเร็วที่หลีกเลี่ยง คือเมื่ออัตราส่วนของ speed-length ratio ประมาณเท่ากับ 1 สำหรับประสิทธิภาพที่ดีที่สุดควรจะให้อัตราส่วน speed-length ratio น้อยกว่า 0.9 เรือในกองทัพเรือสหรัฐอเมริกาปกติจะใช้ความเร็ว 14 น๊อต เรือบรรทุกเครื่องบิน มีอัตราส่วน speed-length ratio ประมาณ 0.45

ตัวอย่าง

ที่สภาพตัวเรือสะอาด เดินทางด้วยความเร็ว 14 น๊อต speed-length ratio ประมาณ 0.7 ด้วยเครื่องยนต์เครื่องเดียวจะเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง 10,000 แกลลอน/วัน และเรือแบบเดียวกันที่ความเร็ว 29 น๊อต speed-length ratio ประมาณ 1.4 ใช้เครื่องยนต์ 2 เครื่อง จะใช้การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 3,000 แกลลอน/ชม.

เรือรบจะใช้ความเร็วสูงสุดตามความต้องการของภารกิจ เรือสินค้าจะถูกออกแบบให้ใช้ความเร็วในการเดินทางสอดคล้องกับความต้านทาน ในความเป็นจริงเรือสินค้าจะใช้ความเร็วประมาณ 15 น๊อต ที่ขนาดเท่ากันเรือรบจะต้องใช้กำลังงานมากกว่าเรือสินค้า เรือสินค้าต้องการถังบรรจุน้ำมันน้อยเพื่อที่จะให้มีที่ว่างในการบรรทุกสินค้ามากกว่าทำให้มีการสร้างรายได้มากกว่า

บทที่ 3

ระบบขับเคลื่อนเรือ (Ship Propulsion System)

1. กล่าวโดยทั่วไป (General Information)

พื้นฐานการทำงานที่เกี่ยวกับระบบขับเคลื่อนนั้นเริ่มต้นจาก เครื่องจักรใหญ่ (Main Engine) ในเรือจากการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง (Chemical Energy) เป็นพลังงานกลและนำพลังงานกลนั้นมาขับเคลื่อนเรือ

ระบบขับเคลื่อนเรือมีวัตถุประสงค์เพื่อการขับเคลื่อนเรือ ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญได้แก่ เครื่องจักรใหญ่ (Main Engine) เครื่องจักรช่วย (Auxiliary Engine) อุปกรณ์ส่งกำลังขับ (Reduction Gear/Main Shaft/Propeller) อุปกรณ์ควบคุม (Control Unit) และระบบตรวจสอบการทำงาน ซึ่งระบบควบคุมนั้นอาจเป็นการควบคุมด้วยระบบกลไก (Mechanically System) ระบบไฟฟ้า (Electrically System) หรือระบบไฮดรอลิค (Hydraulic System) ในปัจจุบันระบบขับเคลื่อนของเรือรุ่นใหม่ ได้นำเอาเทคโนโลยีมาติดตั้งใช้งาน เช่น ระบบอิเลคทรอนิกส์ควบคุม ระบบปรับพิทช์ใบจักร (CPP) เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของระบบให้ดีขึ้น มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงให้น้อยลง

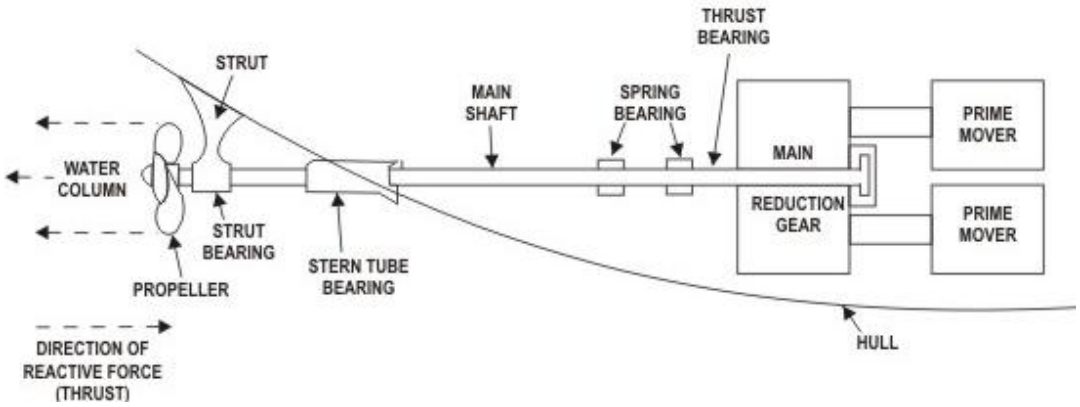
2. การทำงานของอุปกรณ์ขับเคลื่อน (Principles of ship propulsion)

เรือสามารถเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำด้วยอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการผลัก (Propelling Devise) เช่น ใบพายหรือใบจักร โดยอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานที่อยู่ในรูปของความเร็วในการหมุนสู่ลำน้ำ (Water Column) และทำให้ลำน้ำเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่เรือเคลื่อนที่ “แรง” และต่อไปนี้จะเรียกว่า “ แรงดันกลับ” (Reactive Force) เป็นแรงที่เกิดขึ้นในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของลำน้ำที่ส่งมากระทำต่อใบจักร รวมเรียกแรงนี้ว่า แรงดันตามแนวแกนเพลาใบจักร (Thrust) และแรงนี้ถูกถ่ายทอดจากเพลาใบจักรสู่ตัวเรือทำให้เรือเกิดการเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำได้

ใบจักรแบบสกรู (Screw - Type Propeller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการผลักที่นิยมใช้ แรงผลักหรือแรงดันเพลาใบจักร (Thrust) จะถูกถ่ายทอดสู่โครงสร้างตัวเรือผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า แบริ่งกันรุน (Thrust Bearing)

เพลาใบจักร (Main Shaft) เชื่อมต่อจากเพลาหมู่เฟืองเกียร์เครื่องจักรใหญ่ (Main Reduction Gear) ถึงใบจักร ถูกรองรับและปรับให้อยู่ในสภาวะสมดุล (Alignment) ด้วยแบริ่งเพลาใบจักร (Spring Bearing) แบริ่งกระบอกดีฟุต (Stern Tube Bearing) และแบริ่งโยงโย่เพลาใบจักร (Strut Bearing) แรงดันที่เกิดขึ้นบนเพลาใบจักร ถูกถ่ายทอดสู่โครงสร้างตัวเรือโดยผ่านที่แบริ่งกันรุน (Thrust Bearing) นั้น ในเรือส่วนมากแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรจะติดตั้งอยู่บริเวณปลายเพลาใบจักร ด้านหัวหรือด้ายท้ายภายในตัวเรือนของหมู่เฟืองเกียร์เครื่องจักรใหญ่ แต่ในเรือขนาดใหญ่บางประเภทสถานที่ติดตั้งของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร อาจอยู่นอกห้องเครื่องจักรใหญ่หรือติดตั้งอยู่ในห้องเพลา (Shaft Alley) ก็ได้

หมู่เฟืองลดรอบ (Main Reduction Gear) ต่ออยู่ระหว่างเครื่องต้นกำลังขับ (เครื่องจักรใหญ่) และเพลาใบจักร ทำหน้าที่ลดรอบของเครื่องจักรใหญ่ให้ใบจักรทำงาน (หมุน) ด้วยรอบต่ำกว่า ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องจักรใหญ่และใบจักรทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



General Principle of Geared Ship Propulsion

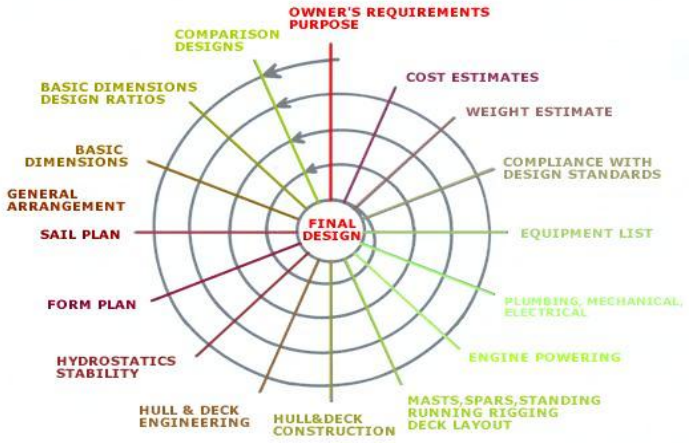
3. พัฒนาการของระบบขับเคลื่อน

สิ่งที่เป็นพื้นฐานการใช้งานของระบบขับเคลื่อนหลัก คือ การขับเคลื่อนเรือให้คงอยู่ในทะเลได้และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือ

ในเรือรบ การใช้งานค่อนข้างที่จะอยู่ในระดับเต็มกำลัง ด้วยความเร็วสูงสุด ความเร็วฉับพลันที่ต้องการใช้ในเวลาอันสั้นและมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อความเร็วต่ำเพื่อความทนทะเลอันยาวนาน นอกจากนี้ การควบคุมระบบขับเคลื่อนหลักต้องเพิ่มเติมการใช้งานบนพื้นฐานระหว่างการศึกษาระบบในเรือเบื้องต้นและการศึกษาระบบเบื้องต้นนั้นจำเป็นจะต้องมีการประเมินด้วย

หลายปัจจัยถูกพิจารณาในการเลือกระบบขับเคลื่อนหลัก ความน่าเชื่อถือเป็นสิ่งสำคัญที่สุด ตั้งแต่ความปลอดภัยและระบบรักษาความปลอดภัยของเรือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ความจุของถังน้ำมันเชื้อเพลิง ชนิดของน้ำมัน พื้นที่ว่าง น้ำหนักที่ต้องการ และความสามามารถในการปรับตัวของระบบขับเคลื่อน โครงสร้างของเรือทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับชนิดของเครื่องจักรและต้องประเมิน/เปรียบเทียบในการใช้งานเครื่องจักรซึ่งเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญ

ก่อนจะเข้าถึงกระบวนการเลือกเครื่องจักรในระบบขับเคลื่อนหลัก มีความจำเป็นที่ความต้องการแรงขับเพื่อสนับสนุนในการใช้งาน พื้นที่ว่างและน้ำหนักที่ต้องการของระบบขับเคลื่อนมีผลกระทบสำคัญต่อโครงสร้างของเรือ มิติและลักษณะเฉพาะของลำเรือ ระวางขับน้ำ เพื่อที่จะประเมินพลังการขับเคลื่อนที่ต้องการ เห็นได้ชัดจากวิศวกรเรือซึ่งต้องทำงานร่วมกับสถาปนิกเรือจากแนวคิดในกระบวนการออกแบบที่แยกส่วนตามลำดับ



วงแหวนการออกแบบระบบขับเคลื่อน (Design Spiral)

4. ความต้องการของระบบขับเคลื่อน

4.1.อัตราเร็วของเครื่องยนต์

อัตราเร็วของเครื่องยนต์ถูกกำหนดโดยโรงงานของผู้ผลิตและเห็นชอบโดยผู้ควบคุมเครื่อง แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพที่ระดับเดียวกันภายใต้สภาวะปกติ แบบจำลองได้มีการพัฒนาขึ้นจากในอดีต ในการปรับปรุงคุณภาพส่วนประกอบของเครื่องยนต์ได้ให้ประสบการ*ณ์*แก่ผู้ผลิต

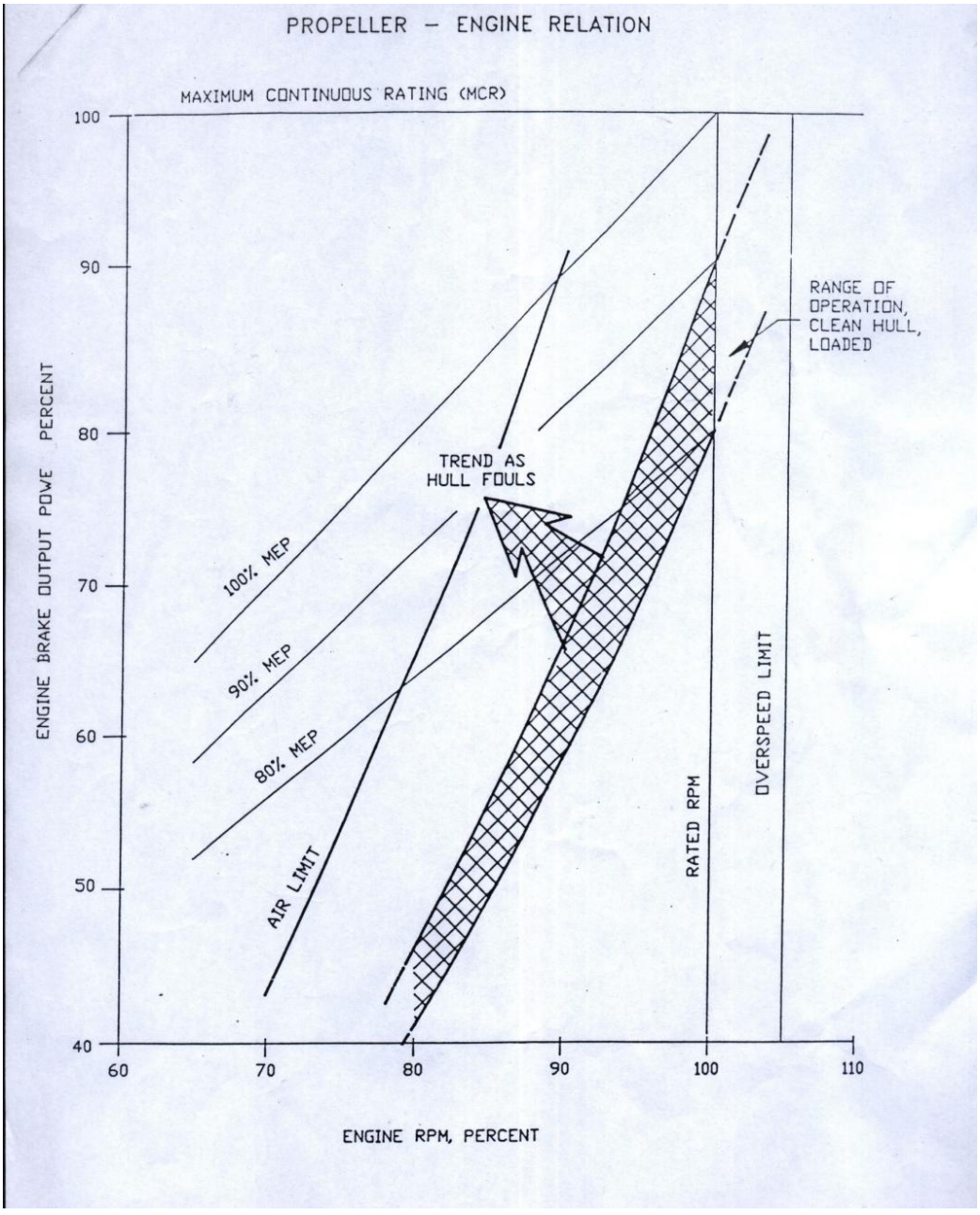
อัตราเร็วของเครื่องยนต์แสดงถึงกำลังของเครื่องยนต์ในรูปแบบของความเร็ว โดยเราเรียกว่า “อัตราเร็วสัมพัทธ์การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(MCR)” เครื่องยนต์อาจให้ความแตกต่างของอัตราเร็วโดยขึ้นอยู่กับการใช้งาน ยกตัวอย่าง เช่น สมรรถนะสูงสุดที่เรือรบสามารถทำได้ภายใต้สภาวะ Overload ในเวลาที่จำกัดและการลดระยะเวลาในการซ่อมบำรุง นี่เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะต่ำสุดของเครื่องยนต์เรือรบกับเครื่องยนต์เรือสินค้า โดยที่เครื่องยนต์จะมีอายุการใช้งานที่

ยืนยาวนั้นขึ้นอยู่กับ ประสบการณ์ของผู้ผลิต ความคงทนของส่วนประกอบภายใน และการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง โดยเปรียบเทียบที่ค่าต่ำสุดของ MCR

กำลังดันภายในของกระบอกสูบของเครื่องยนต์ค่าเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละรอบ รวมไปถึงช่วงชักสูงสุดนี่คือ “กำลังดันที่แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (MIP)” ผลที่ได้คือ ค่าความดันเฉลี่ย (MEP) ที่มีค่าเหมาะสมโดยตรงกับเพลาส่งกำลังขับเคลื่อน

อัตราเร่งสูงสุดที่กระบอกสูบสามารถพัฒนาได้และด้วยข้อจำกัดของค่า MEP มีผลโดยตรงต่อการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ในกระบอกสูบในแต่ละรอบ โดยมีข้อจำกัดดังนี้ การผสมน้ำมันกับอากาศในอุณหภูมิที่เหมาะสม ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่ทนความร้อนได้สูง และลูกสูบที่ทนต่อการขยายตัวภายในกระบอกสูบ ในการฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้อาจไม่ดีพอ ทำให้มีควันมากเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ถ้าเราตั้งค่า MEP ไม่ตรงกันและมีผลกระทบคืออุณหภูมิแก๊สเสียและส่วนประกอบภายในสูงด้วย และยังทำให้อายุการใช้งานต่ำลง

การลดค่าบางอย่างของเครื่องยนต์ให้ต่ำกว่าปกติ มันอาจทำให้เกิดประโยชน์สูงขึ้น โดยอาจมีหรือไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนส่วนประกอบภายในของเครื่องยนต์จากแบบเดิม



- การลดรอบเครื่องอาจทำให้กำลังที่ออกมาต่ำลง ดังนั้นค่า MEP จะต่ำลงด้วย อาจจะส่งผลให้การบำรุงรักษาเครื่องยนต์ต่ำลงไปด้วย

- บางกรณี เครื่องยนต์ควรมีการลดรอบให้ต่ำ ค่า MEP จะต่ำลงไปด้วย เช่น ในกรณีที่เครื่องยนต์มีการต่อตรงกับใบจักร อาจทำให้ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงขึ้นแต่จะไม่มีผลต่อการบำรุงรักษา

- ในกรณีที่มีการพัฒนาเครื่องยนต์ โดยสามารถทำการลดรอบเครื่อง ส่งผลให้ค่า MEP ลดต่ำลง และทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การลดรอบทำให้การบำรุงรักษาต่ำและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

- การส่งกำลังขับของเครื่องยนต์ที่รอบต่ำสุดและสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้ โดยการพัฒนาของระบบซึ่งขึ้นอยู่กับค่า MEP

- เมื่อแสดงถึงกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้รับจากการลดรอบ โดยทั่วไปแล้วเครื่องยนต์ที่มีกำลังมากจะมีขนาดใหญ่น้ำหนักมากและมีราคาสูง ขนาดของอุปกรณ์เสริมและการออกแบบของเพลาใบจักรถือเป็นพื้นฐานของค่า MCR

- การลดขนาดของเครื่องยนต์อาจทำให้เครื่องมีการยกระดับประสิทธิที่สูงขึ้นและค่า MCR อาจเหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็กก็เป็นไปได้

4.2.ความสัมพันธ์ของระบบขับเคลื่อน

สภาวะที่มีผลต่อการรักษาความเร็วของเรือมีหลายสาเหตุ เช่น พื้นผิวของท้องเรือ ระยะการกินน้ำลึก ทริมหัวและท้ายเรือ สภาวะคลื่นลม การรักษาความเร็วเรือ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีผลอย่างยิ่งในการพิจารณาและเหตุผลที่จะให้เรือออกปฏิบัติภารกิจ คือ ท้องเรือและใบจักรต้องมีความสะอาดมากที่สุด ซึ่งในการเพิ่มอัตราเร็วของเรือได้จากการปรับปรุงชั้นผิวเรือ ความสม่ำเสมอและความถี่ในการทำความสะอาดรวมถึงการซ่อมบำรุงรักษาท้องเรือและใบจักร ซึ่งจะทำให้เรือมีประสิทธิภาพสูงขึ้น 20%

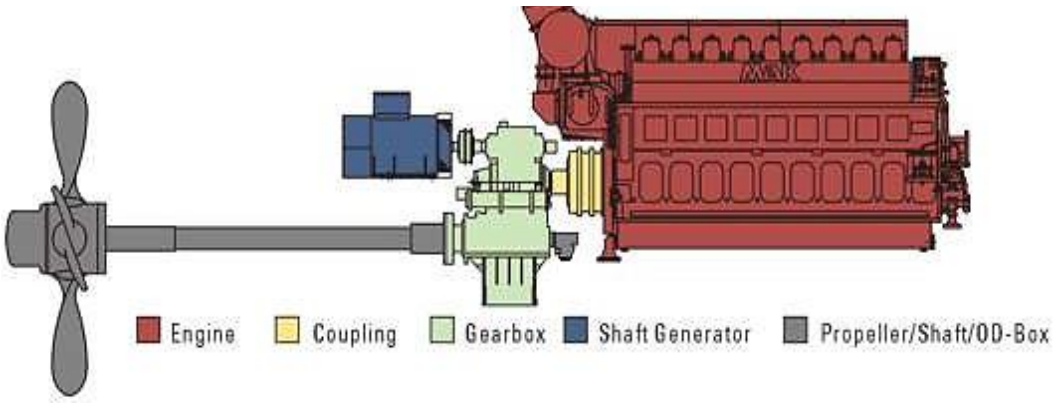
การควบคุมการปรับพิทช์ใบจักรอาจสามารถแก้ไขปรับปรุงสภาวะตัวเรือและใบจักรได้แต่ไม่ใช่เหตุผลหลักในการปรับแต่งค่าความเหมาะสมความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเรือและกำลังที่ส่งถ่ายออกมา

4.3.การส่งถ่ายกำลังของระบบขับเคลื่อน

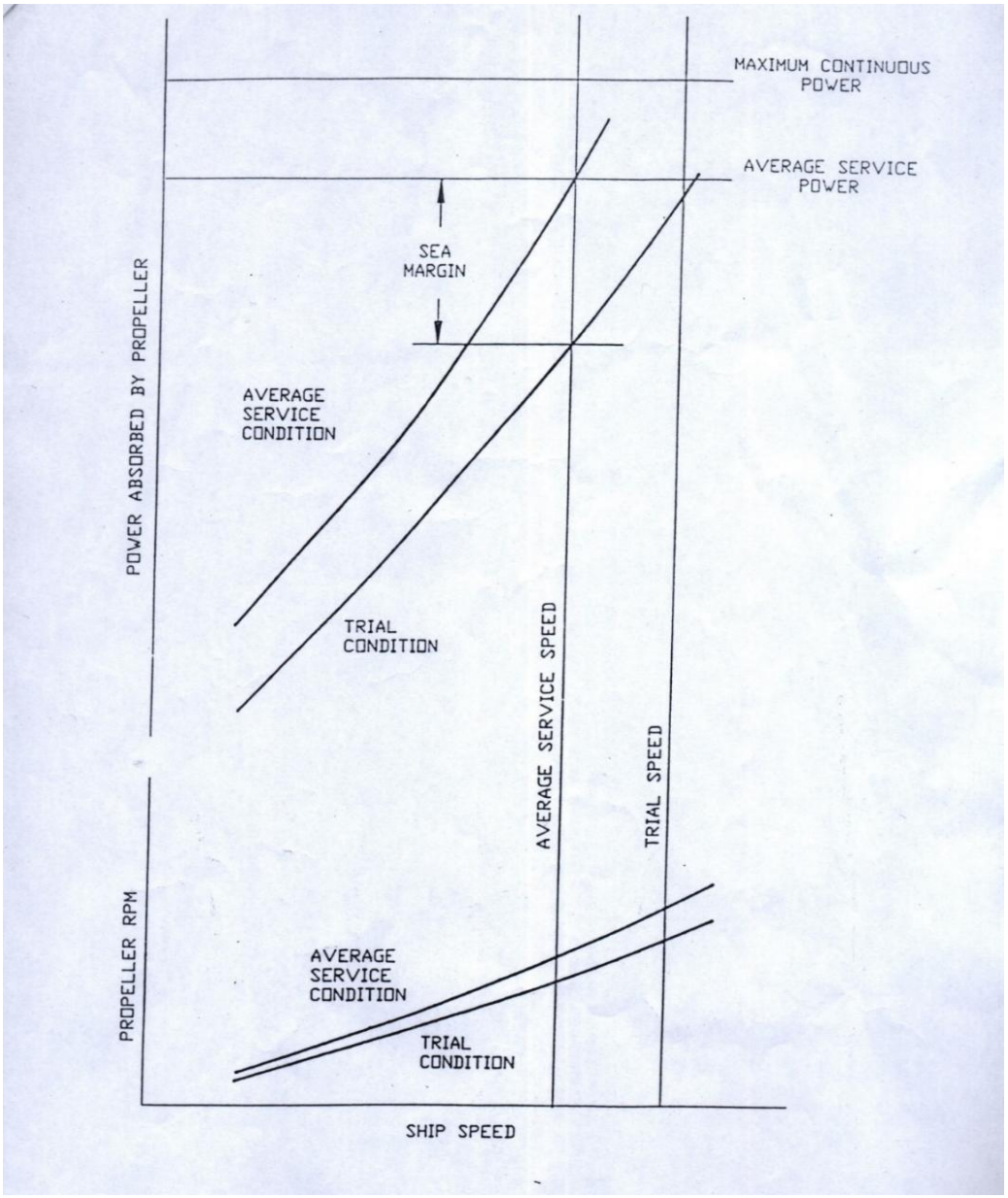
ลักษณะและสมรรถนะของระบบส่งกำลัง การติดตั้งระบบเกียร์ ระบบไฟฟ้า การดูดซับพลังงาน มีส่วนในการส่งถ่ายกำลังไปยังใบจักร การกำหนดค่าพลังงานของระบบขับเคลื่อน

ตามปกติเครื่องยนต์จะรับภาระในการขับเคลื่อนเพลาใบจักร การส่งถ่ายกำลังจะมีการสูญเสียจาก Load ที่ประกอบอยู่ในระบบ ซึ่งจะเหลือกำลังงานที่ได้ออกมาจริงๆ ประมาณ 80 ถึง 90 % ของกำลังงานทั้งหมด โดยขนาดของเครื่องยนต์และระบบใบจักรนั้นใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับพลังงานของระบบขับเคลื่อนการกำหนด

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับกำลังงานที่ส่งถ่ายออกมาจากเครื่องจักรใหญ่



การส่งถ่ายกำลังระบบขับเคลื่อน



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับพลังงานของระบบขับเคลื่อน (Fix Propeller Pitch)

กำลังงานที่ได้ต่ำกว่ากำลังงานเฉลี่ย ถึง 80-90 % เมื่อ

- เรือใช้ความเร็วคงที่
- มีการทำความสะอาดตัวเรือและใบจักร ทำให้ไม่มีสิ่งสกปรกมาเกาะหรือผ่านการซ่อมทำตัวเรือในอู่แห้ง
- มีการซ่อมทำตัวเรือในอู่แห้งอย่างสม่ำเสมอ
- ลมพัดส่งในทิศทางเดียวกับเรือ
- เรืออยู่ในเขตที่มีอากาศอบอุ่น

กำลังงานที่ใช้ต่ำกว่ากำลังงานเฉลี่ยมากกว่า Sea margin

- เรือที่ไม่มีการการซ่อมทำตัวเรือ และใบจักรทำให้ความเร็วลดลง
- ตัวเรือขาดการบำรุงรักษา
- เรือที่ใช้งานในน้ำจืด

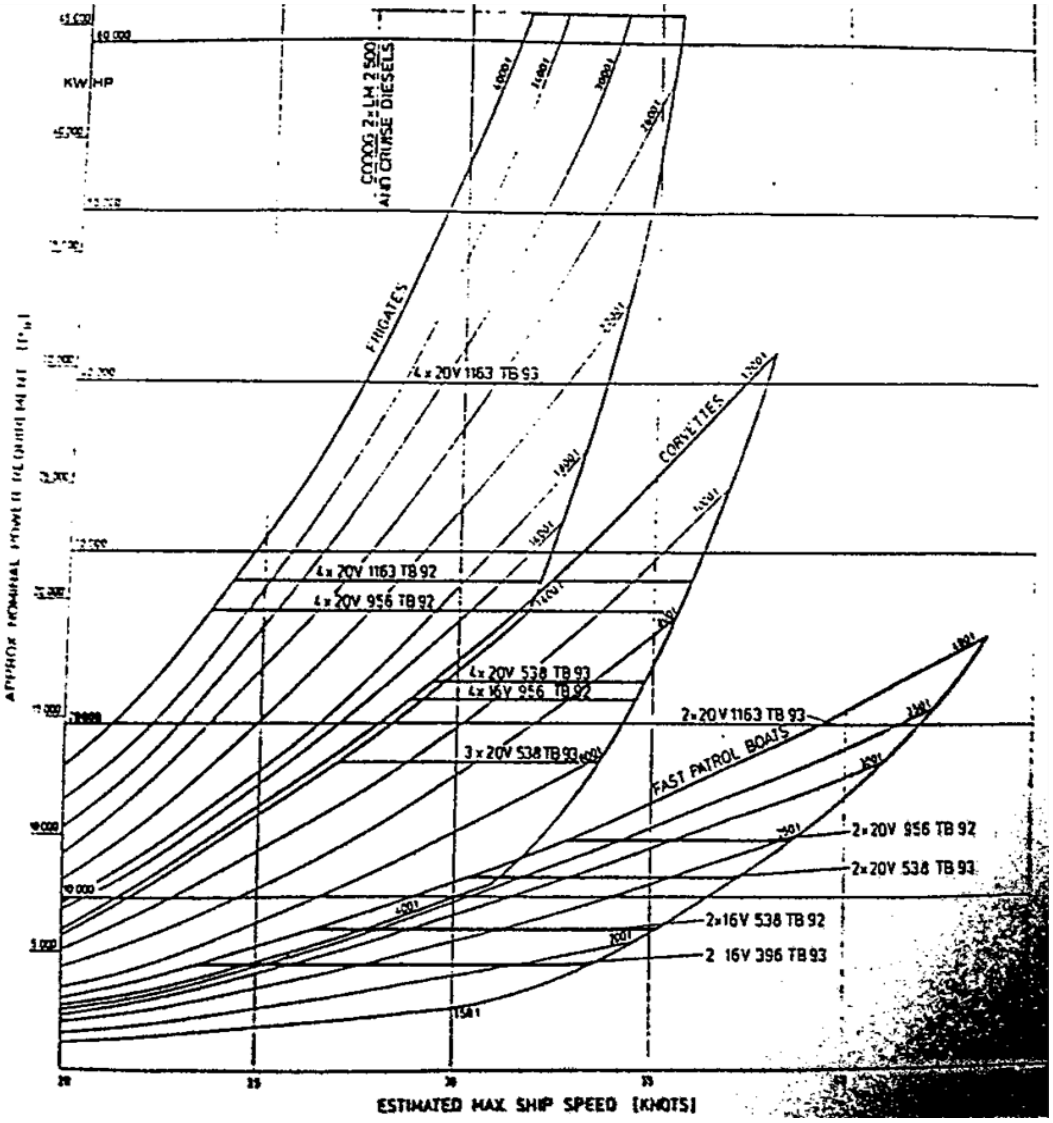
5. การเลือกระบบขับเคลื่อนที่ใช้ในเรือ

5.1.การเลือกระบบขับเคลื่อน

ความเร็วของเรือที่ต้องการและความต้านทาน เป็นสิ่งจำเป็นผลต่อการพิจารณาในการเลือกชนิดของเครื่องจักรใหญ่ (Main Engine) และแบบของระบบขับเคลื่อนที่จะนำมาใช้ในการขับเคลื่อนเรือ

5.2.การเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนในเรือ

แผนภาพทั่วไปสำหรับความต้องการใช้กำลังของเครื่องต้นกำลังขับของเรือรบ 3 ชนิด คือ เรือตรวจการณ์ความเร็วสูง (Fast Patrol Boat) เรือคอร์เวต (Corvettes) และเรือฟริเกต (Frigates) ไม่ว่าจะเป็นเรือที่มีระวางขับน้ำ 1,500 ตัน คือ เรือคอร์เวต หรือจะเป็นเรือที่ถูกจัดระดับชั้นเช่นเดียวกับเรือฟริเกตขนาดเล็ก ก็ยังไม่สามารถจำกัดความต้องการใช้ระบบขับเคลื่อนได้ ยังต้องขึ้นอยู่กับลักษณะอื่นๆ เช่น ระบบอาวุธ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ เป็นต้น แล้วแต่ภารกิจของเรือแต่ละลำ มากกว่าที่จะกำหนดด้วยความเร็วและระวางขับน้ำ ความต้องการของเรือแต่ละลำอาจจะแตกต่างจากแผนภาพดังกล่าว ดังนั้นแผนภาพนี้เป็นเพียงแนวทางในการเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนแต่ละแบบเท่านั้น สำหรับเรือที่ออกแบบที่แน่นอนออกมาแล้ว ก็สามารถที่จะจัดหาเครื่องต้นกำลังขับที่จะทำให้เรือแล่นไปได้



แผนภาพแสดง ความต้องการใช้กำลังของเครื่องต้นกำลังขับในเรือ

แบบของระบบขับเคลื่อนขณะไม่มีระวางบรรทุก เมื่อประกอบเครื่องยนต์ดีเซลเข้าไป สามารถให้กำลังได้ถึง 30,000 kw. (40,000 HP) ดังเช่น เรือคอเวตจะมีความเร็ว 30-32 น็อต และเรือเล็กกว่าเรือฟริเกตสามารถให้กำลังโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลร่วมกัน 2 เครื่อง (CODAD) ให้กำลัง 7,400 kw. (10,000 HP) ต่อหนึ่งเพลา

สำหรับความต้องการความเร็วที่สูงกว่า ของระบบ CODOG หรือ CODAD ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องใช้การทำงานร่วมกันของเครื่อง อย่างไรก็ดีการเดินเรือที่ความเร็ว 20-22 น็อต จะใช้เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อความประหยัด และจะเครื่องกังหันก๊าซเมื่อต้องการความเร็วที่สูงกว่า

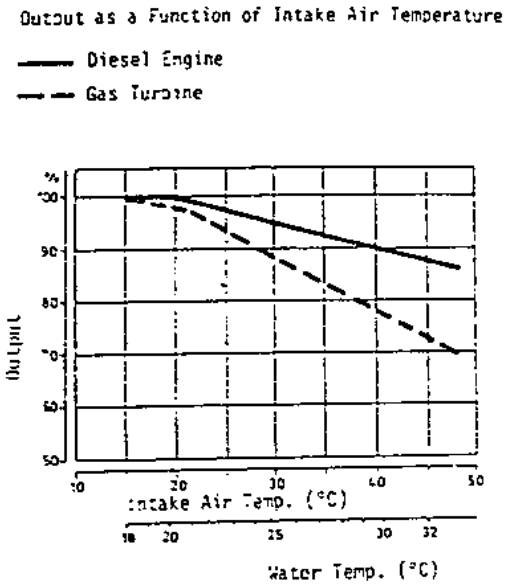
ถ้าความเร็วสูงสุดของเรือค่อนข้างที่จะสูงมาก กำลังของเครื่องดีเซลถูกนำไปรวมกำลังของเครื่องกังหันก๊าซ นั่นก็คือ ระบบ CODAG นั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามความซับซ้อนก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องนำไปรวมกับระบบเกียร์และระบบควบคุมด้วย

เส้นกราฟในแผนภาพยังแสดงถึงกำลังของแบบเครื่อง CODOG ซึ่งใช้เครื่องกังหันก๊าซ LM 2500 จำนวน 2 เครื่อง ดังนั้น การเลือกใช้ควรพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างการออกไป

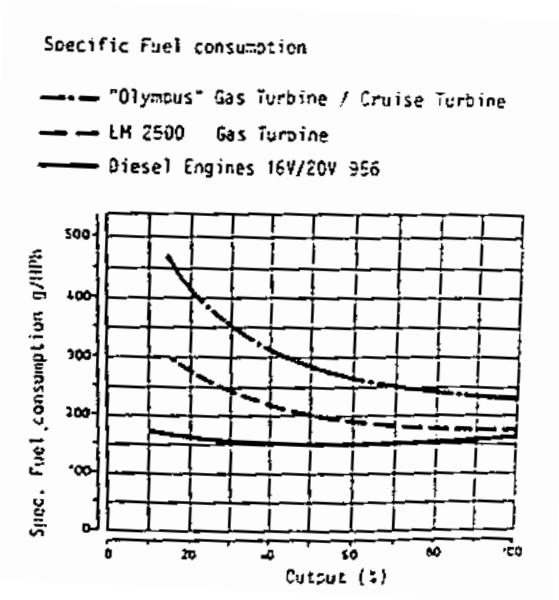
5.3.การเลือกเครื่องต้นกำลังขับสำหรับการเดินเรือ

การเปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิคและลักษณะทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องกังหันก๊าซ เครื่องยนต์ดีเซลถูกเลือกให้ใช้ในเรือตรวจการณ์เร็ว เรือคอร์เวต และเรือฟริเกต

ข้อมูลหลัก ๆ ที่สำคัญของเครื่องต้นกำลังขับทั้งสองภายใต้สภาวะเดียวกัน ในช่วง 3,000 kw. (4,000 HP) ขึ้นไป เครื่องกังหันก๊าซมีข้อได้เปรียบในเรื่องของน้ำหนักและขนาด



แผนภาพแสดง ระดับกำลังงานตามระดับของอุณหภูมิทางเข้า



แผนภาพแสดง อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตามระดับการใช้ง

จากแผนภาพบนซ้ายแสดงระดับกำลังตามระดับของอุณหภูมิอากาศทางเข้า การเพิ่มอุณหภูมิที่มากกว่า 15°C กำลังของเครื่องกังหันก๊าซก็จะลดลงเร็วกว่าของเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นจึงจะต้องลดความเร็วสูงสุดลงเพื่อรักษากำลังของเครื่องกังหันก๊าซ

ในแผนภาพด้านบนขวาแสดงลักษณะเฉพาะของอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามระบบของการทำงาน เครื่องกังหันก๊าซไม่เพียงมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 25% ดังในตารางด้านขวามือ แต่ยังมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่กำลังระดับต่ำอีกด้วย (เช่น 100% ที่ 40% output)

ด้วยลักษณะทางเทคนิคที่ดีกว่าของเครื่องกังหันก๊าซ LM 2500 จึงเหมาะสำหรับเรือที่ต้องการความเร็วสูง เช่น เรือคอร์เวตและฟริเกต เป็นต้น

ในกรณีความเร็วเรือเทียบกับรัศมีทำการ การแล่นเรือภายใต้สภาวะต่างๆ รัศมีทำการสามารถเพิ่มได้มากกว่า 100% เครื่องยนต์ดีเซลจะมีมีอัตราความสิ้นเปลืองที่ประหยัดกว่า จากมาตรฐานที่ 15 น็อต แล่นเรือ 100 ชั่วโมง สถิติความสิ้นเปลือง คือ เครื่องกังหันก๊าซ 117 ตัน และเครื่องดีเซล 66 ตัน ดังนั้นเครื่องยนต์ดีเซล จึงยังเป็นที่นิยมในการใช้งาน (U.S.NAVY)

5.4.การเลือกเครื่องยนต์ต้นกำลังขับที่ต้องการกำลังความเร็วสูง

ในการตัดสินใจใช้เครื่องกังหันก๊าซ สิ่งสำคัญต้องรู้ชนิดของเครื่องกังหันก๊าซว่ามีอะไรบ้าง ขั้นตอนการทำงานให้พร้อมก่อนการพิจารณา สิ่งเหล่านี้จะบ่งบอกได้จากประสบการณ์ ทำให้ได้รับความไว้วางใจ และรู้ว่าจะต้องจัดหาอะไหล่อะไรบ้าง เครื่องกังหันก๊าซนี้มีความรวดเร็วทันใจในการใช้งานและได้รับความไว้วางใจจากผู้ใช้ ดั้งนั้นทำให้มีการตัดสินใจนำเครื่อง LM 2500 มาใช้ ซึ่งเครื่อง LM 2500 มีอายุการใช้งานเริ่มแรกไม่น้อยกว่า 25 ปี ในแต่ละด้านทางเทคโนโลยี การปฏิบัติภารกิจ เศรษฐกิจ และการขนส่ง เป็นเหตุให้เลือกใช้เครื่องกังหันก๊าซ LM 2500

ด้วยต้นทุนในการซื้อของเครื่องกังหันก๊าซมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการลดขนาดของอุปกรณ์ (เช่น ท่อ เครื่องกรองอุปกรณ์เก็บเสียง และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น เนื่องจากท่อทางเข้าของอากาศดี และท่อทางของแก๊สเสียมีขนาดลดลง การกระจายตัวของความร้อน และอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงก็ลดลงด้วย) และโดยการลดอัตราความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง แต่เมื่อได้ทดลองใช้ก็จะอธิบายได้แน่นอนว่าหลังจากเวลาผ่านไปหลายปี ต้นทุนรวมทั้งหมดลดลงจากเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลการปฏิบัติงาน ชั่วโมงการใช้งาน และต้นทุนของน้ำมันเชื้อเพลิง

6. ประเภทของระบบขับเคลื่อน (Type of Propulsion System)

แบ่งตามชนิดของเครื่องจักรใหญ่ (Main Engine) ได้ดังนี้

1.ระบบขับเคลื่อนไอน้ำ (Main Engine Steam Turbine)

2.ระบบขับเคลื่อนเครื่องกังหันก๊าซ (Marine Gas Turbine)

3.ระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล (Marine Diesel System)

4.ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า (Electric Motor Diesel Generator)

6.1.ระบบขับเคลื่อนไอน้ำ (Main Engine Steam Turbine)

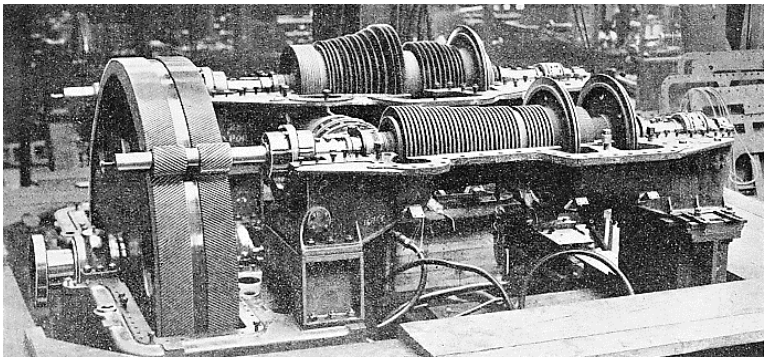
6.1.1. โครงสร้าง/ส่วนประกอบ

หม้อน้ำ (Boiler) เป็นต้นกำเนิดของพลังงานความร้อน มีหน้าที่ ผลิตไอน้ำ

เครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เกียร์ (Reducing Gear) เพลาใบจักรและใบจักร ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำเป็นพลังงานกลและถ่ายทอดพลังงานกลในรูปของการหมุนไปที่ใบจักร

หม้อดับไอเสีย (Condenser) ทำหน้าที่ ดับไอเสียจากเครื่องกังหันไอน้ำให้กลายเป็นน้ำ

เครื่องสูบน้ำ (Pump) ทำหน้าที่ สูบน้ำ (Condensate) จากหม้อดับไอเสีย ส่งกลับเข้าไปชดเชยการกลายเป็นไอของน้ำในหม้อน้ำ (รักษาระดับน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ใช้งานตลอดเวลา)



เครื่องกังหันไอน้ำ (Main Engine Steam Turbine)

6.1.2. การใช้งานระบบขับเคลื่อนไอน้ำ

เครื่องจักรใหญ่กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ประกอบด้วย เครื่องกังหันชุดกำลังดันสูง (H.P.Turbine) เครื่องกังหันชุดกำลังดันต่ำ (L.P.Turbine) และเครื่องกังหันชุดถอยหลัง (Astern Turbine) เป็นเครื่องชนิดที่ให้พลังขับสูง ใช้ไอน้ำชนิดซุปเปอร์ฮีท (Super heat) ดังนั้น การติดตั้งหม้อน้ำใช้งานจึงต้องมีมากกว่า ๑ ใบ การทำงานระบบขับเคลื่อนไอน้ำสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

เมื่อต้องการให้เรือเดินหน้า (Ahead) ไอน้ำจากหม้อน้ำจะถูกส่งเข้าทำงานที่เครื่องกังหันชุดกำลังดันสูงและเครื่องกังหันชุดกำลังดันต่ำตามลำดับ (พลังงานความร้อนของไอน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานกลและถ่ายทอดพลังงานกลผ่านเกียร์และเพลาใบจักรสู่ใบจักร)

เมื่อต้องการให้เรือถอยหลัง (Astern) ไอน้ำจากหม้อน้ำจะถูกส่งเข้าทำงานที่เครื่องกังหันชุดถอยหลัง (Astern Turbine) พลังงานกลที่ได้จะทำให้เพลาใบจักรหมุนกลับทาง เรือจะแล่นไปในทิศทางถอยหลัง

ไอน้ำ (Main Steam) เมื่อเข้าไปทำงานในชุดกังหันแล้วกำลังดันและอุณหภูมิจะลดลง เรียกว่า ไอเสีย (Exhaust Steam) และถูกส่งเข้าไปลดอุณหภูมิให้กลายเป็นน้ำในหม้อดับไอเสีย เรียกน้ำนี้ว่า “น้ำคอนเดนเซท”

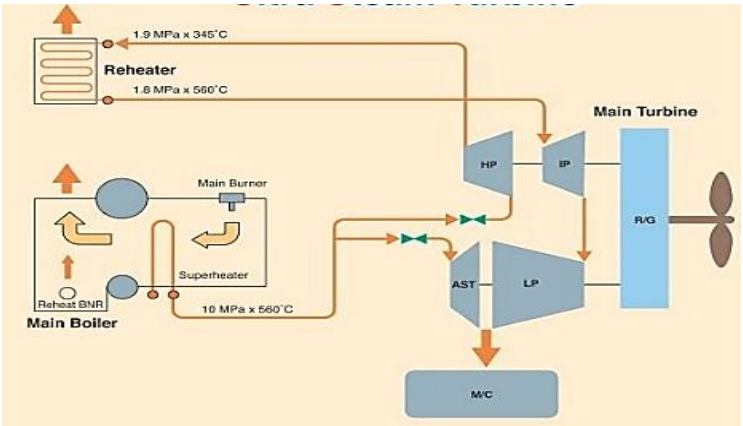
ปั๊มน้ำ (Condensed Water Pump) ทำหน้าที่ สูบน้ำคอนเดนเซทออกจากหม้อดับไอเสีย ส่งกลับเข้าไปชดเชยการกลายเป็นไอน้ำของน้ำในหม้อน้ำและจะรักษาระดับน้ำในหม้อน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ใช้งานตลอดเวลา

หมายเหตุ

- ระบบขับเคลื่อนไอน้ำทำงานเป็นวงรอบ (Cycle)
- การสั่งจักรเรือเดิน ต้องสั่งผ่านเครื่องสั่งจักร (Telegraph) ลงไปให้เจ้าหน้าที่ในห้องควบคุมเครื่องเป็นผู้ปฏิบัติ

6.1.3. ข้อเสียของระบบขับเคลื่อนไอน้ำ

- หม้อน้ำ เครื่องจักรใหญ่กังหันไอน้ำ และเครื่องจักรช่วยมีขนาดใหญ่ ทำให้เพิ่มน้ำหนักเรือ
- ต้องการกำลังพลในการปฏิบัติงานมาก
- การเตรียมการด้านการใช้งานยุ่งยากและใช้เวลานาน
- ปัจจุบัน ทร. (สหรัฐ) ได้พิจารณาเลิกใช้ระบบขับเคลื่อนประเภทนี้แล้วโดยจัดหาพลังงานชนิดอื่นมาทดแทน สำหรับเรือในกองเรือยุทธการที่ใช้ระบบขับเคลื่อนประเภทนี้ ได้แก่ เรือชุด ร.ล.พุทธยอดฟ้าจุฬาโลก



6.2. ระบบขับเคลื่อนเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine Main Engine)

6.2.1. โครงสร้าง/ส่วนประกอบ

เครื่องจักรใหญ่ ชนิดเครื่องกังหันก๊าซ (Marine Gas Turbine)

เกียร์ (Reducing Gear) เพลาใบจักรและใบจักร

ระบบ *ระบบขับเคลื่อนไอน้ำ (Steam Turbine propulsion system)*

ระบบบรบพทชเบจกร (Control Propeller Pitch)

6.2.2. การใช้งานระบบขับเคลื่อนเครื่องกังหันก๊าซ

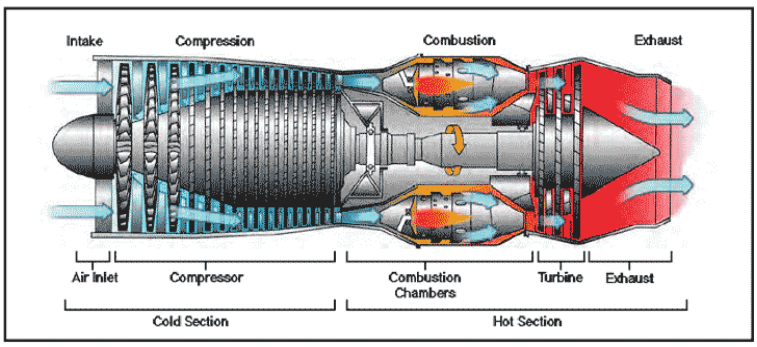
เครื่องกังหันก๊าซเรือ (Marine Gas Turbine) ได้รับการปรับปรุงและพัฒนามาจากเครื่องกังหันก๊าซที่ใช้งานกับเครื่องบิน จัดอยู่ในประเภทเครื่องยนต์รอบสูง (High Speed) ชนิดเผาไหม้ภายใน (พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอากาศถูกนำไปใช้งานโดยตรง) มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ชุดพัดอากาศ (Compressor) ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) และชุดกังหัน (Turbine) ลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง กล่าวคือ พัดอากาศทำหน้าที่อัดอากาศ ส่งเข้าห้องเผาไหม้ผสมกับเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ตลอดเวลา ทำให้ได้พลังงานความร้อนเป่าปีกเทอร์ไบน์อย่างต่อเนื่อง ส่วนพลังงานกลที่เกิดจากการหมุนของปีกเทอร์ไบน์นั้นจะถูกถ่ายทอดไปสู่ใบจักรโดยผ่านชุดเกียร์ (Reducing Gear) และเพลาใบจักร (เพลาใบจักรหมุนทางเดียว)

6.2.3. ข้อดีของเครื่องกังหันก๊าซที่นำมาติดตั้งใช้งานเรือ

ปัจจุบันนิยมนำเครื่องกังหันก๊าซมาติดตั้งใช้งานเป็นเครื่องจักรใหญ่ภายในเรือหลายประเภท เนื่องจากให้พลังขับสูง มีน้ำหนักเบา สตาร์ทเครื่องและเร่งเครื่องได้เร็ว ให้ความปลอดภัยสูง เมื่อเทียบกับระบบขับเคลื่อนแบบอื่นแล้ว เครื่องกังหันก๊าซให้กำลังขับต่อน้ำหนักเครื่องมากกว่า รวมถึงการซ่อมบำรุงไม่ซับซ้อนและข้อดีทางยุทธการที่สำคัญ คือ เครื่องเดินเงียบทำให้เรือดำน้ำตรวจจับยาก เรือในกองเรือยุทธการที่ใช้เครื่องกังหันก๊าซเป็นเครื่องจักรใหญ่ ได้แก่ ร.ล. มกุฎราชกุมาร เรือชุด ร.ล.นเรศวรและร.ล.จักรีนฤเบศร

หมายเหตุ

- ระบบขับเคลื่อนประเภทเครื่องกังหันก๊าซ เป็นระบบที่มีการควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถใช้เครื่องได้ที่สะพานเดินเรือหรือที่ห้องควบคุม (MCR)



ระบบขับเคลื่อนเครื่องกันหันแก๊ส (Gas Turbine propulsion system)

6.3. ระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล (Marine Diesel Engine)

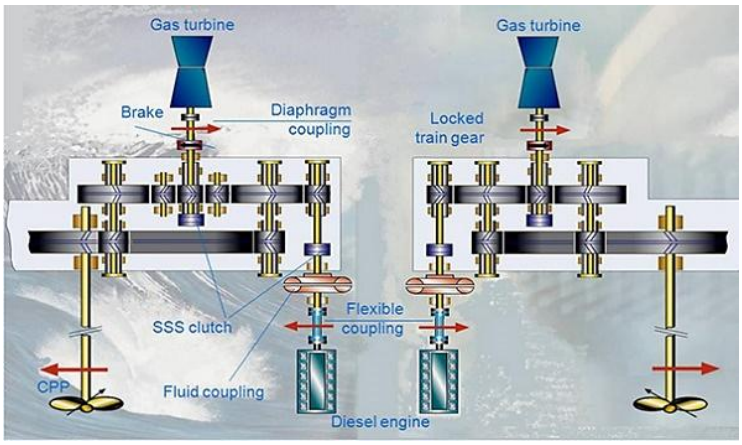
6.3.1. โครงสร้าง / ส่วนประกอบ

เครื่องจักรใหญ่ (เครื่องยนต์ดีเซล)

เกียร์ (Reducing Gear)

เพลาใบจักรและใบจักร (Main shaft and Propeller)

ระบบอิเลคทรอนิคส์ควบคุม (เรือรุ่นใหม่)



ระบบปรับพิทช์ใบจักร (Control Propeller Pitch) (เรือรุ่นใหม่/ขนาดใหญ่)

6.3.2. การใช้งานระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล

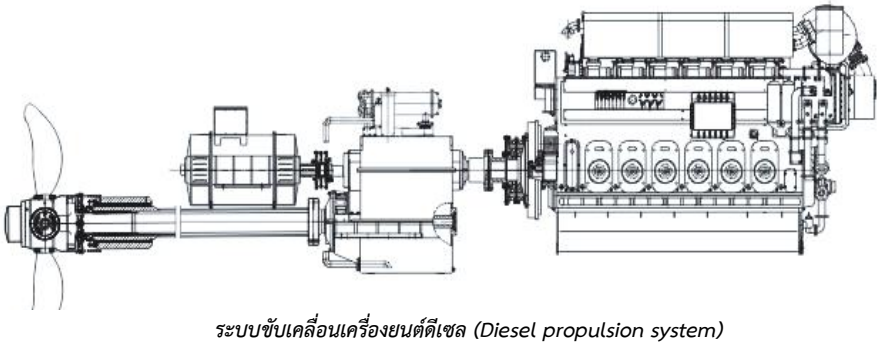
เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ชนิดเผาไหม้ภายใน (พลังงานความร้อนเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอากาศ) ขบวนการเผาไหม้และขบวนการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลเกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ (ที่ยอดสูบ) และถ่ายทอดพลังงานกลผ่านทางก้านสูบ เพลาข้อเสือ เกียร์ (Reducing Gear) เพลาใบจักรและใบจักรของระบบขับเคลื่อนตามลำดับ

การออกแบบอุปกรณ์ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซลติดตั้งใช้งานทั้งในเรือประเภทเรือรบ เรือช่วยรบ เรือลากจูงและเรือใช้สอยอื่นๆ ทั้งเรือขนาดเล็กและขนาดใหญ่

ในเรือบาง *ระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel propulsion* งเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นการต่อตรงและการควบคุมรอบเพลาใบจักรทำโดยตรงโดยการควบคุมรอบเครื่อง รวมทั้งเมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือก็จะกระทำได้โดยการเปลี่ยนทางหมุนของเพลาใบจักร ด้วยการเลิกเครื่องเปลี่ยนเพลาลูกเบี้ยวเพื่อให้กลับทางหมุนจึงเดินเครื่องขึ้นมาใหม่และปล่อยเพลาใบจักรหมุนในทิศทางตรงข้าม การปฏิบัติดังกล่าวใช้เวลานานทำให้การเปลี่ยนทิศทางเรือในกรณีเร่งด่วนไม่สามารถกระทำได้

เพื่อขจัดปัญญาหาจากสถานการณ์ดังกล่าวและให้การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือเป็นไปด้วยวิธีการเรียบง่ายใช้เวลาน้อยที่สุดจึงได้นำเอาหมู่เฟืองเกียร์ถอยหลัง (Revers Reduction Gear) คลัทช์ และระบบปรับพิทช์ใบจักร มาติดตั้งใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนในระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล

ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลเรือได้ถูกปรับปรุงและพัฒนาด้วยเทคโนโลยีให้มีสมรรถนะสูงขึ้น เรือที่ติดตั้ง



ระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel propulsion system)

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องจักรใหญ่สามารถออกไปทำการในรัศมีที่ไกลขึ้น ขณะที่ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงทำให้เครื่องยนต์ดีเซลยังคงเป็นเครื่องจักรที่สำคัญสำหรับงานเรือได้ต่อไปอย่างกว้างขวาง

6.4. ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor Diesel Generator)

6.4.1. โครงสร้าง / ส่วนประกอบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Diesel Generator)

เครื่องจักรใหญ่ (Electric Motor)

เกียร์ (Gear/Reducing Gear)

เพลาใบจักรและใบจักร (Main Shaft and Propeller)

6.4.2. การใช้งานระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อนประเภทนี้ นำเอามอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) ติดตั้งเป็นเครื่องจักรใหญ่ซึ่งมอเตอร์ดังกล่าวมีหลักการทำงานเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไป กล่าวคือ การหมุนของโรเตอร์เกิดจากการผลักกันของสนามแม่เหล็ก ทำให้เพลาใบจักรหมุน (การเปลี่ยนแปลงทางหมุนเพลาใบจักรทำได้โดยการเปลี่ยนทางไฟเข้ามอเตอร์)

Long Main Generator รับกระแสไฟฟ้าจาก MG SET ไปเลี้ยงขาแม่เหล็ก ทำให้รอบเพลาใบจักรสูงขึ้นโดยที่รอบเครื่องจักรใหญ่ยังคงที่อยู่ที่ Idle Speed จนกระทั่งถึง 35 % ของรอบเพลาสูงสุด (ประมาณ 265 rpm) ค่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุด สำหรับการเพิ่มความเร็วรอบเพลาต่อ ๆ ไป จะเป็นการเพิ่มรอบเครื่องจักรใหญ่

กรณีเครื่องจักรใหญ่รับภาระไม่เท่ากัน สามารถปรับแต่ได้โดยปรับที่ตัวปรับแต่งละเอียดซึ่งจะเป็นการปรับแต่ง Governor ในช่วงแคบ ๆ

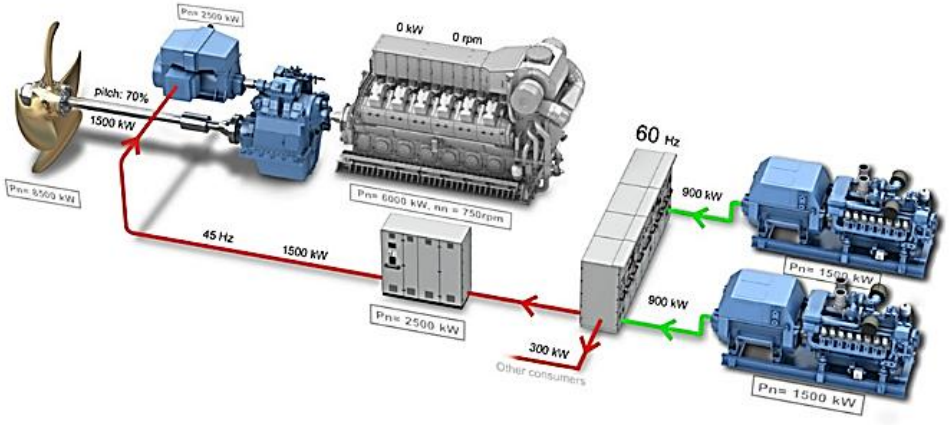
การเพิ่มหรือลดรอบเพลาใบจักรจะปรับที่ตัวปรับแต่งละเอียดอีกตัวหนึ่ง โดยการเพิ่มหรือลดกระแสที่ขาแม่เหล็ก (Field) ของ Long Main Motor ซึ่งจะอยู่ในช่วงจำกัดอีกอันหนึ่ง (ประมาณไม่เกิน 10 รอบ)

การกลับทางหมุนของเพลาใบจักร จะทำเช่นเดียวกับการเดินหน้า เพียงแต่ทิศทางการไหลของกระแสที่เข้าไปเลี้ยงขาแม่เหล็ก (Fild) ของ Long Main Motor จะกลับทิศทางกับการเดินหน้าโดยที่เครื่องจักรใหญ่ดีเซลยังคงหมุนในทิศทางเดิม

ปัจจุบัน กองทัพเรือสหรัฐได้นำระบบขับเคลื่อนประเภทนี้ติดตั้งใช้งานในเรือฟริเกตร่วมกับระบบขับเคลื่อนเครื่องกังหันก๊าซ ซึ่งทำให้เกิดข้อดีที่สำคัญ คือ ลดเสียงจากเครื่องยนต์ (Low Noise Signature) และประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

หมายเหตุ

- ระบบขับเคลื่อนของ ร.ล.ปิ่นเกล้า ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบไฟตรง (DC Motor)
- สั่งจักรเรือเดินด้วยเครื่องสั่งจักร

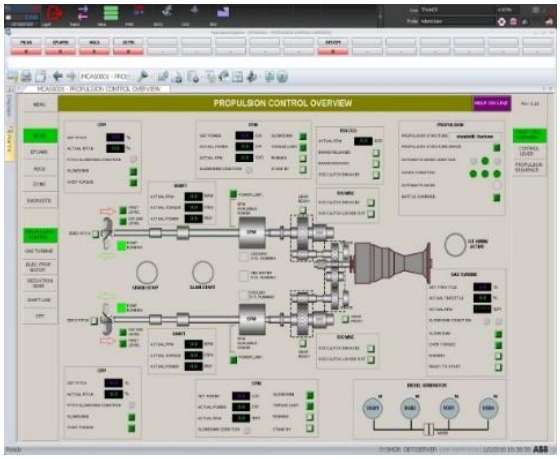


7. การพัฒนาและการออกแบบระบบขับเคลื่อนของเรือ (Combined Marine Propulsion System)

ระบบขับเคลื่อนของเรือ เป็นระบบหนึ่งที่มีพัฒนาการมากขึ้น จากการนำเอาเครื่องจักรใหญ่แบบต่าง ๆ มาทำงานร่วมกันด้วยเหตุผลของความต้องการด้านต่าง ๆ ได้แก่ การประหยัด ความเร็ว หรือความเงียบ เพื่อใช้ประโยชน์ทางยุทธวิธี เช่น การปราบเรือดำน้ำ การทำสงคราม/การต่อต้านทุ่นระเบิด ฯลฯ ในอดีต การพัฒนาการของระบบขับเคลื่อนเป็นการพัฒนาในระบบ Mechanics มากกว่าระบบ Electronics ปัจจุบัน ในเรือดำน้ำหรือเรือรบรุ่นใหม่ ๆ เริ่มหันมาใช้ระบบขับเคลื่อนแบบไฟฟ้ารวมด้วยมากขึ้น เหตุผลจาก สภาวะเศรษฐกิจและการปฏิบัติงานทางยุทธการ โดยทำงานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องจักร และระบบการบริหารจัดการระบบต่าง ๆ ภายในเรือ เพื่อให้เรือดำรงความสามารถในการการรบและ การปฏิบัติการตามยุทธวิธี โดยมีการนำระบบเครือข่ายมาใช้ในการเชื่อมต่อระบบต่าง ๆ ของเรือไม่ว่าจะเป็น ระบบต้นกำลังขับ ระบบขับเคลื่อน ระบบไฟฟ้า หรือระบบป้องกันความเสียหาย ของเรือ

ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor Diesel Generator)

วางอุปกรณ์ของ... ...องควบคุมเครื่องจักรหลัก (Main Control Room) สถานีป้องกันความเสียหาย (Repair Party) สะพานเดินเรือ หรือตามจุดต่าง ๆ บนเรือ ให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก แม้ในยามที่เรือได้รับความเสียหายจะยังคงเลือกใช้งานจากจุดใด ๆ ภายในเรือก็ได้ ระบบ IPMS จึงเป็นวิวัฒนาการของเรือรบรุ่นใหม่อีกระบบหนึ่งที่ช่วยเสริมแนวคิดในการเพิ่มศักยภาพในการดำรงอยู่ของเรือ ในด้านการควบคุมความเสียหาย การซ่อมทำเร่งด่วนให้เรือฟื้นตัวได้เร็วขึ้น และสามารถทำการรบต่อไปได้



การแสดงภาพห้องควบคุมเครื่องจักร และการควบคุมระบบเครื่องจักรต่าง ๆ ในเรือ

การพัฒนาการระบบขับเคลื่อนของเรือตั้งแต่อดีตจนปัจจุบัน สามารถกำหนดเป็นแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. CODAD : Combined Diesel And Diesel
2. CODAG : Combined Diesel And Gas Turbine
3. CODOG : Combined Diesel Or Gas Turbine
4. COGAG : Combined Gas Turbine And Gas Turbine
5. COGOG : Combined Gas Turbine Or Gas Turbine
6. CODLAG : Combined Diesel Electric And Gas Turbine
7. CODAG WARP : Combined Diesel And Gas & Water-Jet and Refined Propeller
8. COSAG : Combined Steam And Gas Turbine
9. COGAS : Combined Gas Turbine And Steam

10. CONAS : Combined Nuclear And Steam Propulsion

หมายเหตุ

1. CO... (Combined)
   หมายถึง เครื่องต้นกำลังขับที่นำมาประกอบกัน
2. ...D/G/DL... (Diesel/Gas turbine/Diesel Electric) ตัวแรก
   หมายถึง เครื่องยนต์หลักที่ใช้ในการลาดตระเวน (Cruise Purposes)
3. ...A/O... (And/Or)
   หมายถึง การใช้งานของเครื่องต้นกำลังขับที่นำมาประกอบกันเป็นแบบใช้พร้อมกันหรือใช้แยกกัน
4. ...D/G/DL... (Diesel/Gas turbine/Diesel Electric) ตัวหลัง
   หมายถึง เครื่องยนต์หลักที่ใช้เมื่อต้องการความเร็วสูง (Boost Power)

7.1. ระบบขับเคลื่อนแบบดีเซลและดีเซล (CODAD: Combined Diesel And Diesel)

หลักการของระบบขับเคลื่อนแบบดีเซลและดีเซลนี้ เป็นระบบสำหรับเรือที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 2 เครื่องในการขับเคลื่อนเพลาใบจักร 1 เพลา โดยใช้ระบบเกียร์และคลัทช์ในการพ่วงใช้งาน ให้สามารถเลือกใช้เครื่องยนต์เครื่องเดียวหรือสองเครื่องขับเพลาใบจักรก็ได้

การวางเครื่องแบบ ดีเซล 4 เครื่องของเรือ corvette ระวางขับน้ำประมาณ 1,300 ตัน ซึ่งเป็นแบบที่ประหยัดและได้รับความนิยม ถูกพัฒนาให้มีความทนทานสูงเพื่อการลาดตระเวนในการป้องกันชายฝั่ง

สำหรับระวางขับน้ำประมาณ 400 ถึง 1,400 ตัน ระบบขับเคลื่อนแบบนี้สามารถทำกำลังได้ถึง 40,000 แรงม้า ซึ่งอุปกรณ์ในระบบประกอบด้วย เครื่อง MTU 956 หรือ 1163 จำนวน 4 เครื่อง กับ เกียร์ 2 ตัวแบบ friction clutches 2 เพลา ใบจักร ชนิดปรับพิชได้ (CPP) มีระบบควบคุมและการแสดงผล (Control & Monitoring) ระบบนี้ไม่ได้กำหนดว่าจะใช้เครื่องจักรใหญ่กี่เครื่องในการขับ 1 หรือ 2 เพลาใบจักร แต่ในเมื่อ มุมองศาของเพลาใบจักรมากเกินไป แบบ 2 เพลาควรแยกออกจากกันโดยตลอด อย่างไรก็ตามความเป็นได้ที่จะเกิดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเพลาที่ไม่ได้จำกัดทิศทางการหมุนในแต่ละเพลา

ระบบควบคุมการขับเคลื่อนหลักควรมีระบบอัตโนมัติในการเริ่มเดินและเลิกเครื่องพร้อมทั้งกระบวนการสับเปลี่ยนเครื่อง ในส่วนของใบจักร มีการปรับแต่งการหมุนเพื่อการรับภาระโหลดโดยควบคุมผ่านระบบควบคุมระบบควบคุมระบบขับเคลื่อนในกรณีฉุกเฉินหรือระบบควบคุมขัดข้อง ต้องสามารถควบคุมแบบ Manual ได้ การติดตั้งระบบขับเคลื่อนใน 2 ห้องเครื่องได้เปรียบกว่าห้องเดียว ในกรณีที่น้ำท่วมห้องเรือก็ยังคงดำเนินภารกิจต่อไปได้

CODAD: Combined Diesel and Diesel

7.2. ระบบขับเคลื่อนแบบดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์ (CODAG: Combined Diesel And Gas Turbine)

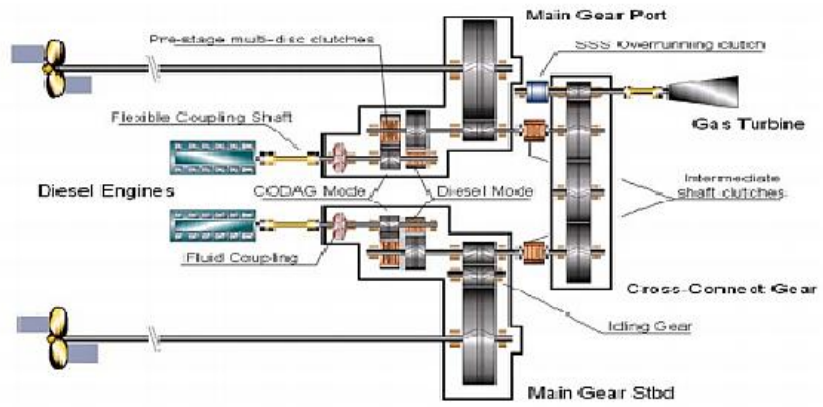
ระบบขับเคลื่อนแบบดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์ (CODAG) เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับเรือที่ต้องการความเร็วสูงสุดมากกว่าความเร็วเดินทาง โดยเฉพาะเรือฟริเกตและเรือคอร์เวตสมัยใหม่ หลักการของระบบ CODAG จะใช้ Gearboxes 2 ระบบ ประกอบด้วย เครื่องยนต์ดีเซลสำหรับขับเคลื่อนด้วยความเร็วเดินทางและมีเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ต่อพ่วงอยู่ ซึ่งสามารถเดินเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์เสริมทำให้ได้ความเร็วสูงขึ้น

ส่วนใหญ่แล้วความแตกต่างของกำลังขับของเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียวเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องยนต์ดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์ร่วมกันจะมีกำลังขับที่แตกต่างกันมากเกินไปสำหรับการขับใบจักรแบบควบคุมการปรับมุมของใบจักรได้ (Controllable Pitch Propellers)

ดังนั้นในการที่จะจำกัดรอบการหมุนของใบจักร เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำงานต่อไปได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนอัตราทดของระบบส่งกำลัง จึงจำเป็นต้องใช้ระบบเกียร์พิเศษแบบ Multi-Speed ซึ่งแตกต่างจากระบบ CODOG ที่ต่อพ่วงเครื่องยนต์กับเพลาเรือด้วยระบบเกียร์แบบธรรมดาและเป็นแบบอัตราทดคงที่ แต่จะปลดออกเมื่อมีการใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์

ตัวอย่างเช่น เครื่องยนต์แบบ CODAG รุ่นใหม่ของเรือฟริเกต ชั้น Fridtjof Nansen ของกองทัพเรือนอร์เวย์ อัตราทดของเกียร์สำหรับเครื่องยนต์จาก 1 : 7.7 (เครื่องยนต์ : ใบจักร) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเพียงอย่างเดียว ไปเป็น 1 : 5.3 สำหรับการใช้เครื่องยนต์ดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์ร่วมกัน เรือบางลำใช้อัตราทดถึง 3 ระดับ เช่น ระดับที่ 1 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเครื่องเดียวและระดับที่ 2 สำหรับการใช้เครื่องยนต์ดีเซลอีกหนึ่งเครื่อง และระดับที่ 3 สำหรับเมื่อเดินเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์

ระบบขับเคลื่อนแบบ CODAG จะมีรูปแบบที่เล็กกว่าระบบที่ใช้ดีเซลเพียงอย่างเดียว แต่ให้ค่ากำลังขับที่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะเราสามารถใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดเล็กลงทำงานร่วมกับเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์และระบบเกียร์ที่มีขนาดเล็กใช้เนื้อที่ไม่มาก แต่ยังคงให้ประสิทธิผลของการใช้เชื้อเพลิงในขณะที่ใช้ความเร็วเดินทางของเครื่องยนต์ดีเซลอยู่ ทำให้เรือแล่นได้ไกลกว่าและประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์เพียงอย่างเดียวแต่ต้องใช้ระบบเกียร์ที่มีความซับซ้อน น้ำหนักมากและอาจมีปัญหาได้ง่าย ความเร็วเดินทางของเรือรบที่ใช้ระบบ CODAG ขับเคลื่อนเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลจะอยู่ที่ประมาณ 20 น๊อต และความเร็วสูงสุดที่ใช้เครื่องแก๊สเทอร์ไบน์จะอยู่ที่ประมาณ 30 น๊อต



CODAG: Combined Diesel and Gas Turbine

7.3. ระบบขับเคลื่อนแบบดีเซลหรือแก๊สเทอร์ไบน์ (CODOG: Combined Diesel Or Gas Turbine)

เป็นแบบของระบบขับเคลื่อนที่เรือต้องการความเร็วสูงสุด (Maximum Speed) ที่มากกว่าความเร็วเดินทาง (Cruising Speed) โดยเฉพาะในเรือประเภทเรือฟริเกตหรือเรือคอร์เวต เพลาใบจักรเรือแต่ละเพลาจะต่อกับเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับทำความเร็วเดินทาง และต่อกับเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์สำหรับทำความเร็วสูง เครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องจะต่อเข้ากับเพลาด้วยคลัตช์ ในการขับเคลื่อนเรือ เครื่องจักรเพียงแบบเดียวจะขับเคลื่อนเรือ จะแตกต่างจากระบบขับเคลื่อนแบบ CODAG ซึ่งสามารถขับเคลื่อนพร้อมกันทั้งสองระบบช่วยเสริมแรงขับเรือข้อดีของระบบ CODOG คือ จะใช้ระบบเกียร์แบบง่าย ๆ แต่ต้องการเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ที่มีกำลังสูงกว่ามาก และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ระบบ CODAG ด้วย

เรือ Frigate 4,000 ตัน แบบ เครื่องดีเซล 2 เครื่อง และ เครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง (CODOG)

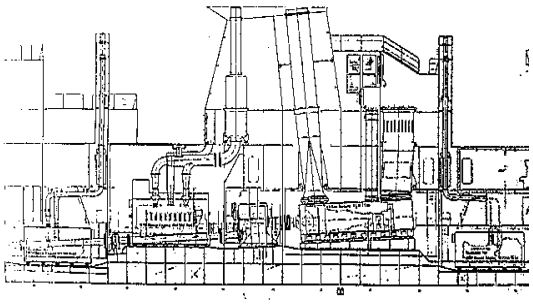
ระบบ (CODOG) ได้กำหนดไว้สำหรับเรือรบที่มีระวางขับน้ำมากกว่า 1,800 ตัน ที่ต้องการความเร็วสูง ตัวอย่างเช่น ระบบขับเคลื่อนของ เรือ Frigate เยอรมัน F-122 กองทัพเรือเยอรมันตัดสินใจใช้ ระบบนี้เพราะลักษณะเฉพาะนี้มาจากเรือชั้น Kortenaer ของประเทศฮอลแลนด์ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกังหันก๊าซ ไว้สำหรับการลาดตระเวนและภารกิจที่ต้องใช้ความเร็วสูง ตลอดช่วงเวลากำหนดความคิด กองทัพเรือเยอรมันและอู่ต่อเรือได้ร่วมตัวกันสร้างระบบ (CODOG) ให้ได้เปรียบกว่าทุกๆแบบด้วยระบบที่ประกอบด้วย เครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่องแบบ (LM 2500) และเครื่องดีเซลแบบ MTU 20V 956

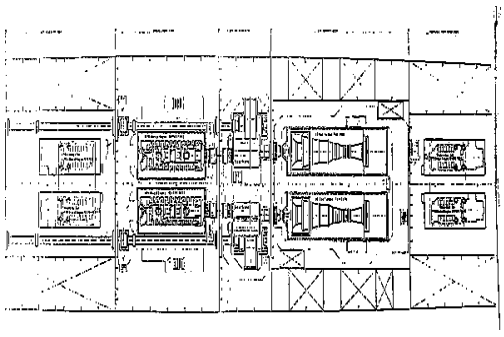
การตัดสินใจของกองทัพเรือเยอรมันในการยอมรับระบบ (CODOG) เกิดจากการเปรียบเทียบและพิจารณาข้อมูลที่ทาง MTU ได้เตรียมไว้ดังนี้

1. เครื่องดีเซล MTU 956 กับ เครื่องกังหันก๊าซ สำหรับการลาดตระเวน
2. เครื่องกังหันก๊าซ 1 เครื่อง กับ เครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง (LM 2500)
3. ข้อร้องเรียนจากประสบการณ์การใช้ MTU 956 กับ LM 2500 ในกองทัพเรือ

ส่วนประกอบระบบขับเคลื่อนได้แก่

- เครื่องจักรใหญ่กังหันก๊าซ 2 เครื่อง แบบ General Electric LM 2500
- เครื่องจักรใหญ่ดีเซล 2 เครื่อง แบบ MTU 956
- ระบบเกียร์ส่งกำลังแบบลดรอบ 2 เครื่อง
- เพลาใบจักรแบบปรับพิชท์ได้ 2 เพลา





- ระบบควบคุมและแสดงผลสมบูรณ์แบบ

ระบบเพลาควรอิสระจากกันโดยสมบูรณ์ระหว่างการเดินทางในทุกภารกิจ และไม่มีระบบกลไกที่ใช้ร่วมกันใน

ระบบของชุดขับเคลื่อนดีเซลเพลาจะถูกขับหมุนจาก Fluid Couplings ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน้าแปลนโดยตรงทำให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันกับเครื่องจักรใหญ่ดีเซล สำหรับ Couplings แบบนี้สามารถประสานกำลังได้อย่างนิ่มนวล พร้อมทั้งยังดูดซับความสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องจักรใหญ่ Overrunning Clutches สำหรับเครื่องจักรดีเซลและเครื่องกังหันก๊าซจะแยกการขับหมุนของแต่ละเครื่องออกจากกันจนกระทั่งมีการเรียกใช้อีกครั้ง

เมื่อต้องการใช้ความเร็วสูงเครื่องกังหันก๊าซจะเดินเครื่องและเข้าประสานกำลังอย่างอัตโนมัติโดยผ่านระบบเกียร์ส่งกำลังแบบ CODOG และ Self - Synchronizing clutches และเมื่อเครื่องกังหันก๊าซรับภาระโหลดทั้งหมดแล้วเครื่องจักรใหญ่ดีเซลก็สามารถเลิกเดินเครื่องได้ Overrunning Clutches สำหรับเครื่องจักรดีเซลและเครื่องกังหันก๊าซจะแยกการขับหมุนของแต่ละเครื่องออกจากกันจนกระทั่งมีการเรียกใช้อีกครั้ง

กระบวนการสับเปลี่ยนการใช้เครื่องจากกังหันก๊าซเป็นดีเซลหรือจากดีเซลเป็นกังหันก๊าซจะเป็นอัตโนมัติสมบูรณ์แบบแต่สามารถสับเปลี่ยนแบบ แมนนวล ได้ในกรณีฉุกเฉิน การควบคุมและแสดงผลของระบบจะเป็นแบบอัตโนมัติซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งจากสะพานเดินเรือและห้องควบคุมเครื่องจักร ในกรณีฉุกเฉินเครื่องจักรสามารถควบคุมได้ที่ตู้ควบคุมหน้าเครื่อง พร้อมทั้งระบบควบคุมจะจำกัด มุมและความเร็วใบจักร ที่ดีที่สุดสำหรับการเร่งและลดความเร็ว

ของเรือ

7.4. ระบบขับเคลื่อนแบบแก๊สเทอร์ไบน์และแก๊สเทอร์ไบน์ (COGAG: Combined Gas Turbine and Gas Turbine)

เป็นระบบขับเคลื่อนของเรือที่ใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ๒ เครื่อง ติดตั้งพ่วงกับเพลาใบจักร ๑ เพลาโดยมีระบบเกียร์บ๊อกซ์ และคลัตช์ ในการเลือกใช้เครื่องยนต์ตัวใดตัว หรือใช้พร้อมกันทั้งสองเครื่อง การใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ๑ หรือ ๒ เครื่องมีข้อดีที่สามารถตั้งกำลังขับที่แตกต่างกันได้ กล่าวคือ การที่เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์มีประสิทธิผลของการใช้เชื้อเพลิ

CODOG: Combined Diesel or Gas Turbine

ชุด จะมีประสิทธิภาพมากก[illegible] นี้ทำให้มีความประหยัดมากกว่าที่ความเร็วเดินทางของเรือ

ระบบขับเคลื่อนแบบนี้จะมีขนาดของระบบเล็กกว่าระบบขับเคลื่อนแบบ CODAG หรือ CODOG แต่ระบบ COGAG จะมีประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงต่ำกว่ามากที่ความเร็วเดินทาง ในขณะที่ระบบ CODAG จะมีประสิทธิผลต่ำกว่าระบบ COGAG ที่ความเร็วสูง ๆ เรือที่ใช้ระบบ COGAG ได้แก่ เรือฟริเกต Type 22 Frigate (Batch 3) (ทร.สหราชอาณาจักร) เรือบรรทุก บ.Invincible - Class (ทร.สหราชอาณาจักร) เรือพิฆาตบรรทุกเฮลิคอปเตอร์ชั้น Hyuga Class (กองกำลังป้องกันตนเองญี่ปุ่น) และ เรือฟริเกตชั้น Neustrashimy Class (ทร.รัสเซีย)

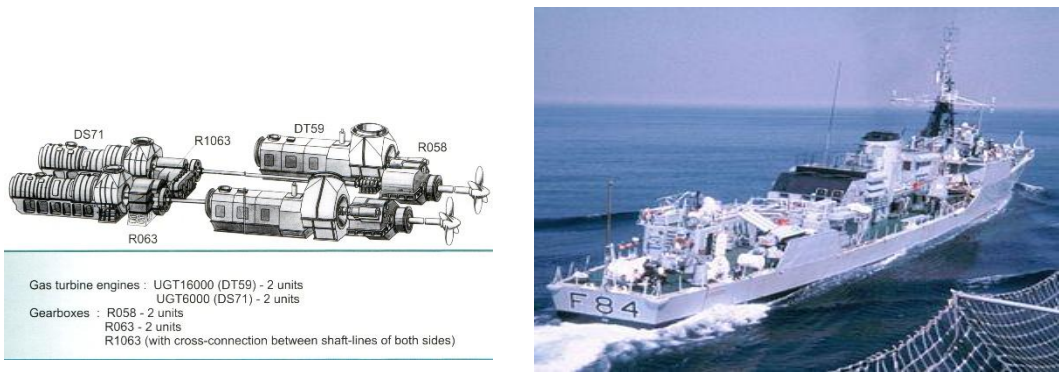
COGAG: Combined Gas Turbine and Gas Turbine

7.5. ระบบขับเคลื่อนแบบแก๊สเทอร์ไบน์หรือแก๊สเทอร์ไบน์ (COGOG: Combined Gas Turbine or Gas Turbine)

เป็นระบบขับเคลื่อนสำหรับเรือที่ใช้เครื่องแก๊สเทอร์ไบน์ทั้งหมด โดยเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ตัวหนึ่งจะเป็นแบบให้กำลังขับน้อยสำหรับใช้ในการทำความเร็วเดินทาง และเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์อีกตัวหนึ่งแบบกำลังขับสูงสำหรับใช้ในการปฏิบัติการที่ความเร็วสูง ในการเลือกใช้เครื่องยนต์เครื่องใดจะใช้คลัตช์เป็นตัวเลือกให้ทำงาน โดยไม่ต้องมีเกียร์บ๊อกซ์ทำให้สามารถใช้เครื่องจักรทั้งสองได้พร้อมกัน

ระบบนี้จึงมีข้อดีที่ไม่ต้องมีระบบเกียร์ที่มีน้ำหนักมากราคาแพงและมักมีปัญหามาก เหตุผลที่ต้องใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ตัวเล็กในการขับความเร็วเดินทางนั้นเพราะว่าเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ตัวเล็กเดินเครื่องที่กำลังขับ ร้อยละ ๑๐๐ จะให้ประสิทธิผลในการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าการใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ตัวใหญ่เดินเครื่องเพียง ร้อยละ ๕๐

ระบบขับเคลื่อนแบบนี้มีใช้งานอยู่บนเรือเพียง ๓ ลำในเรือลาดตระเวนเบาชั้น Slava ของ ทร.รัสเซียและเรือฟริเกตของ ทร.สหราชอาณาจักร HMS Exmouth (F84) แต่ปัจจุบันได้เปลี่ยนไปใช้เครื่องยนต์แบบ COGOG ซึ่งเป็นต้นแบบให้เรือลำอื่น ๆ แล้ว



COGOG: Combined Gas Turbine or Gas Turbine

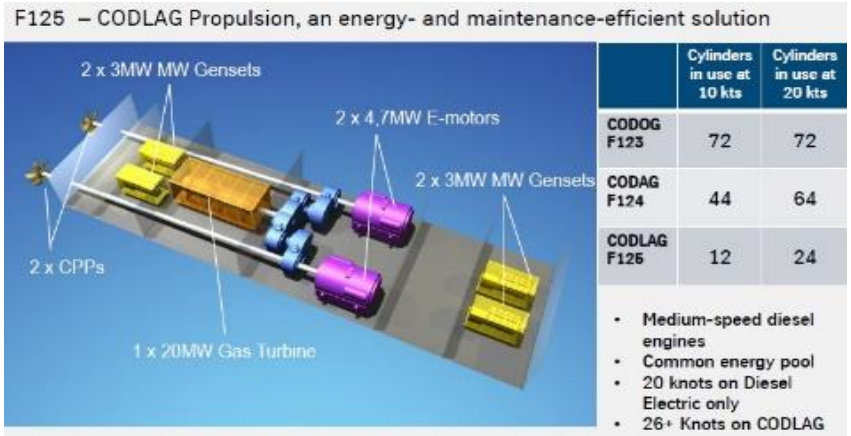
7.6. ระบบขับเคลื่อนแบบเครื่องยนต์ดีเซล – ไฟฟ้าและแก๊สเทอร์ไบน์ (CODLAG: Combined Diesel – Electric and Gas Turbine)

เป็นระบบขับเคลื่อนที่ดัดแปลงมาจากระบบขับเคลื่อนแบบ CODAG ของเรือรบ ระบบ CODLAG จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ต่อพ่วงกับเพลาใบจักร (ตามปกติจะเป็น ๒ เพลา) ตัวมอเตอร์เองจะถูกขับด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generators) ในกรณีใช้ความเร็วสูงจะใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ขับเพลาที่ต่อพ่วงกับระบบเกียร์อีกด้านหนึ่ง แต่ในกรณีของความเร็วต่ำสำหรับเดินทาง จะปลดคลัทช์ของเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ออก การจัดวางระบบขับเคลื่อนแบบนี้เครื่องยนต์ดีเซลจะเน้นใช้สำหรับการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา เพราะ

ช่วยลดความต้องการแบบของเครื่องยนต์ดีเซลที่แตกต่างกันลงไป ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าต้องการการดูแลรักษาน้อยกว่า และที่สำคัญมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำงานในย่านรอบการหมุนที่กว้างขวางกว่า และสามารถต่อโดยตรงกับเพลาใบจักร ดังนั้นระบบเกียร์จึงนำมาใช้เพียงการต่อพ่วงกันระหว่างเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์กับมอเตอร์ไฟฟ้าเท่านั้น

ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของระบบขับเคลื่อนดีเซล-ไฟฟ้า คือ ไม่ต้องการการต่อพ่วงทางแมคคานิค เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถแยกติดตั้งเพื่อให้ลดเสียงดังจากตัวเรือได้ ทำให้นิยมนำไปใช้ในเรือดำน้ำและเรือปราบเรือดำน้ำ ตามปกติแล้วระบบขับเคลื่อนแบบ CODLAG ในเรือปราบเรือดำน้ำจะติดตั้งแบตเตอรี่แบบที่ชาร์จได้เช่นเดียวกับ ในเรือดำน้ำดีเซล-ไฟฟ้า ทำให้สามารถนำเรือได้อย่างเงียบโดยไม่มีเสียงเครื่องจักรทางกลเดินอยู่

เรือที่ใช้ ระบบขับเคลื่อนแบบCODLAG ได้แก่ เรือฟริเกตชั้น Type 23 ของทร.สหราชอาณาจักร เรือฟริเกตชั้น F-125 ของ ทร.เยอรมัน เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบขับเคลื่อนนี้ไปสู่ระบบที่เรียกว่า Integrated Electric Propulsion (IEP) และเริ่มนำมาใช้ในเรือพิฆาต Type 45 ของทร.สหราชอาณาจักร โดยระบบขับเคลื่อนจะใช้ทั้งเครื่องยนต์ดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์ในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าโดยไม่มีการต่อพ่วงทาง Mechanic กับใบจักร ซึ่งไม่จัดว่าเป็นระบบ CODLAG แต่เรียกเป็นระบบ IEP หรือ Integrated Full Electric Propulsion (IFEP) การจัดระบบขับเคลื่อนแบบนี้เหมือนกับที่ใช้ในเรือโดยสาร เช่น RMS Queen Mary 2 โดยมีเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าดีเซลจำนวนมากเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าหลัก และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเทอร์โบสำหรับกำลังขับสูงสุด นอกจากนี้ยังติดตั้งกับเรือรบอื่น ๆ เช่น เรือพิฆาตชั้น Zumwalt Class (DDG-1000/DD(X)) ของ ทร.สหรัฐ ฯ



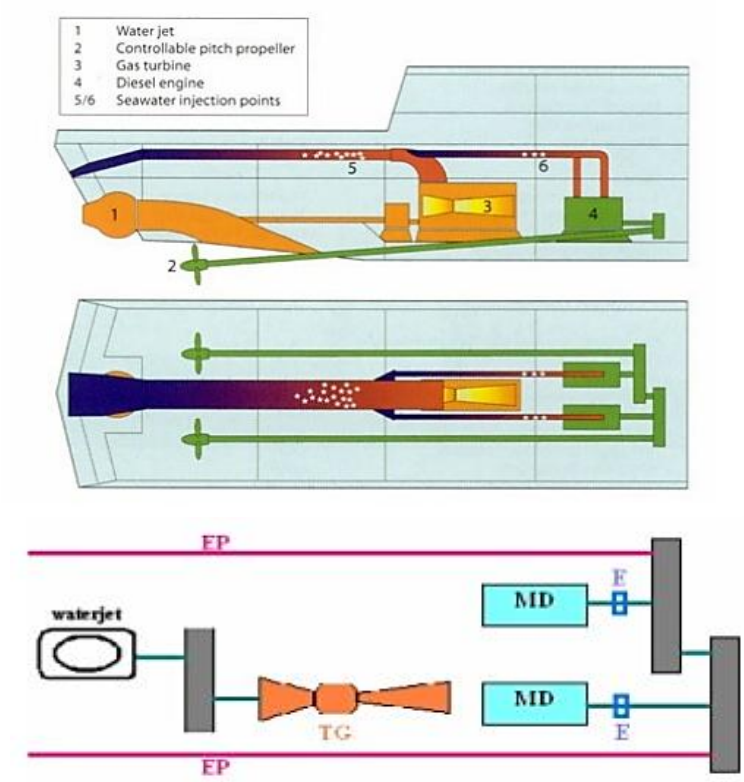
CODLAG: Combined Diesel – Electric and Gas Turbine

7.7. ระบบขับเคลื่อนแบบเครื่องยนต์ดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์และWater - Jet (CODAG WARP: Combined Diesel and Gas & Water-Jet and Refined Propeller)

ระบบขับเคลื่อนแบบดีเซลและแก๊สเทอร์ไบน์กับ Waterjet เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นโดยอู่เรือ Blohm + Voss สำหรับเลือกใช้ในเรือชั้น MEKO ซึ่ง ทร.แอฟริกาใต้ ได้เลือกใช้ในเรือชั้น Valour (แบบ MEKO A - 200)

ระบบขับเคลื่อนนี้จะใช้เครื่องยนต์ดีเซล ๒ เครื่อง ขับใบจักร ๒ ชุด ในลักษณะ CODAD โดยเพลาทั้งสองสามารถขับด้วยเครื่องยนต์ดีเซลเพียงเครื่องเดียวและระบบ Waterjet ที่อยู่ตรงกลางแนวลำตัวเรือจะขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ระบบ Waterjet หากไม่ทำงานหรือไม่ขับเคลื่อนจะไม่ก่อให้เกิดอาการลาก เนื่องจากหัวฉีดสามารถวางตัวในแนวยื่นออกไปท้ายเรือและปรับให้สูงขึ้นได้อีกจึงไม่มีผลกระทบต่อใบจักรเรือ การออกแบบเรือที่ใช้ระบบขับเคลื่อนนี้ จะสามารถทำงานได้ ๔ ลักษณะ คือ

- Economical Mode เครื่องยนต์ดีเซล ๑ เครื่องขับเพลาทั้งสองเพลา ให้ความเร็วรอบใบจักรได้สูงสุดที่ ๑๕๐ รอบต่อนาที
- Maneuvering Mode เครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองเครื่องขับทั้งสองเพลา ให้ความเร็วรอบใบจักรได้สูงสุดที่ ๒๐๐ รอบต่อนาที
- CODAG - WARP ทั้งเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองเครื่องและเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ทำงานพร้อมกันทั้งหมดให้ความเร็วรอบใบจักรได้สูงสุด ๒๑๕ รอบต่อนาที
- Water - Jet Mode เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์เพียงอย่างเดียวขับเคลื่อนระบบ Water Jet เรือฟริเกตที่มีระบบขับเคลื่อนแบบนี้ ออกแบบให้ใช้เวลาในทะเล ร้อยละ ๘๐ โดยทำงานใน Economical Mode และ Maneuvering Mode

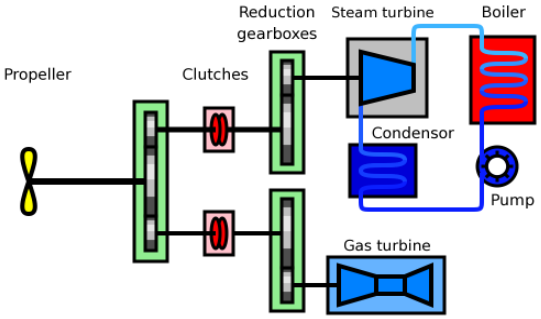


CODAG WARP: Combined Diesel and Gas & Water-Jet and Refined Propeller

7.8. ระบบขับเคลื่อนแบบเครื่องกังหันไอน้ำและแก๊สเทอร์ไบน์ (COSAG : Combined Steam and Gas Turbine)

หลักการของระบบขับเคลื่อนแบบ COSAG เป็นการนำเอาเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbines) มาทำงานร่วมกับเครื่องกังหันแก๊ส (Gas Turbines) ในการขับเพลาใบจักร โดยใช้ระบบเกียร์ (Reduction Gearboxes) และครัทช์ในการทำให้เครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งหรือทั้งสองเครื่องขับเพลา

ระบบขับเคลื่อนแบบนี้มีข้อดีที่ประสิทธิผลของการใช้ความเร็วเดินทางของกังหันไอน้ำและความสามารถในการเร่งความเร็วสูงของแก๊สเทอร์ไบน์ ระบบนี้มักมีใช้ในเรือรบที่ใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ในยุคแรก ๆ เช่น ในเรือพิฆาตชั้น County Class และเรือฟริเกตชั้น Tribal Class ของ ทร.สหราชอาณาจักร รวมทั้ง เรือบรรทุกเครื่องบิน ของ ทร.สเปน ชั้น Dedalo เป็นต้น

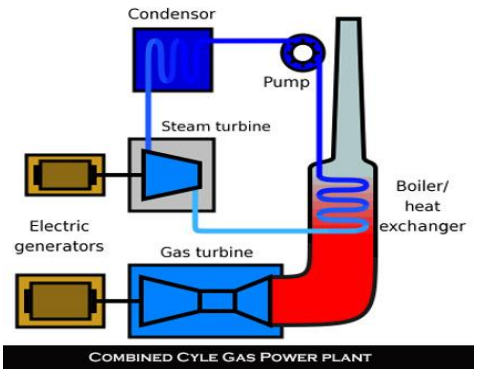


COSAG : Combined Steam and Gas Turbine

7.9. ระบบขับเคลื่อนแบบแก๊สเทอร์ไบน์และเครื่องกังหันไอน้ำ (COGAS : Combined Gas and Steam Turbine)

ระบบขับเคลื่อนแบบ COGAS เป็นระบบที่ใช้เรียกการนำเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ มาทำงานร่วมกับเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ โดยเครื่องยนต์กังหันไอน้ำจะใช้ไอน้ำที่ได้จากการเผาน้ำผ่านท่อแก๊สเสียของเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ในกรณีนี้ทำให้สามารถนำพลังงานที่เสียไปจากท่อแก๊สเสียมาใช้ใหม่ได้ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน นิยมใช้ในโรงผลิตกระแสไฟฟ้าบนบก ซึ่งจะสามารถทำค่าสัมประสิทธิ์ด้านประสิทธิผลที่ ร้อยละ ๕๘ ในกรณีที่ระบบขับเคลื่อนแบบนี้หากเครื่องยนต์เทอร์ไบน์ไม่ได้ขับเพลาใบจักรโดยตรง แต่ใช้การขับผ่านระบบส่งกำลังแบบ Turbo - electric Transmission จะเรียกระบบนี้ว่า COGES ระบบ COGAS จะแตกต่างจากระบบขับเคลื่อนอื่น ๆ ตรงที่เป็นระบบที่ไม่ได้ออกแบบมาให้ทำงานตามลำพังเพียงระบบเดียว แม้ว่าจะสามารถทำได้แต่จะขาดประสิทธิภาพในการใช้งาน ซึ่งต่างจากระบบขับเคลื่อนแบบ CODAG เมื่อเดินเครื่องยนต์เฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล และไม่ควรเข้าใจสับสนกับระบบ COSAG ซึ่งทำงานโดยใช้เตาเผาน้ำมันและหม้อน้ำสำหรับใช้ไอน้ำในการเดินเครื่องที่ความเร็วเดินทางและใช้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์เมื่อต้องการเร่งความเร็วสูง ระบบ COGAS ได้เคยถูกเสนอให้ใช้ในการปรับปรุงเรือที่มีเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ใช้เป็นหลัก เช่น ระบบ COGOG หรือระบบ COGAG เช่นในเรือพิฆาตชั้น Arleigh Burke ของทร.สหรัฐ ฯ แต่ปัจจุบันไม่มีเรือลำใดใช้ระบบนี้แล้ว

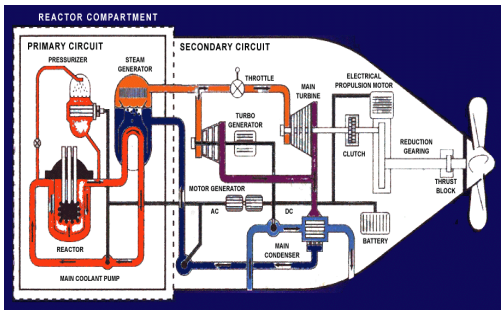
อย่างไรก็ตาม ระบบ COGES กลับมีใช้อยู่ในเรือโดยสารสมัยใหม่ เช่น เรือ Celebrity Cruises'Millennium และเรืออื่น ๆ ในชั้นเดียวกันที่ใช้ระบบ Turbo – Electric Plants โดยมีเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ แบบ General Electric LM2500 และเครื่องยนต์กังหันไอน้ำอีกเครื่องหนึ่ง ปัจจุบันบริษัท BMW กำลังทำการวิจัยการนำระบบ COGAS มาใช้ในรถยนต์โดยใช้ระบบ Turbo Steamer ซึ่งใช้ความร้อนที่เสียไปจากท่อไอเสีย มาทำให้เกิดไอน้ำและสร้างแรงบิดที่เพลาขับในห้อง Crankshaft



COGAS : Combined Gas and Steam Turbine

7.10. ระบบขับเคลื่อนแบบนิวเคลียร์และเครื่องกังหันไอน้ำ (CONAS: Combined Nuclear and Steam Propulsion)

CONAS เป็นระบบขับเคลื่อนมีใช้ในเรือ เช่น เรือบรรทุกเครื่องบิน เรือดำน้ำนิวเคลียร์ สหรัฐ ฯ หรือ เรือลาดตระเวนเบาอาวุธปล่อยนำวิถีชั้น Kirov ของ ทร.รัสเซีย โดยใช้หม้อต้มน้ำ ๒ หม้อแบบปกติเป็นระบบสำรองในกรณีที่เตาปฏิกรณ์ชำรุดโดยที่ทั้งสองอุปกรณ์สามารถขับระบบเกียร์กังหันไอน้ำ และสร้างแรงขับได้ ๑๒๐,๐๐๐ Hp (๘๙ MW) ด้วยเพลาใบจักร ๒ ใบ



CONAS: Combined Nuclear and Steam Turbine

8. สรุปโครงสร้างของระบบขับเคลื่อนที่ใช้งานในเรือรบผิวน้ำ

ระบบขับเคลื่อน (Propulsion System) ของเรือในกองเรือยุทธการ ประกอบด้วยระบบที่มีโครงสร้างต่างกันตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่สามารถสรุปการใช้งานของเรือแต่ละประเภทได้ตามตารางต่อไปนี้

ใบจักร (Propeller)	โครงสร้างระบบขับเคลื่อน (Configuration)	ประเภท / ชุดเรือ (Platform)
ใบจักรปรับพิทช์ไม่ได้ (FPP)	- ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า (เมื่อต้องการให้เรือถอยหลัง ทำได้โดยการเปลี่ยนทางไฟเข้ามอเตอร์ให้เพลาใบจักรหมุนกลับทาง)	ร.ล.ปิ่นเกล้า
ใบจักรปรับพิทช์ไม่ได้ (FPP)	- ระบบขับเคลื่อนไอน้ำ (เมื่อต้องให้การเรือถอยหลัง ทำได้โดยเปิดไอน้ำเข้าทำงานในเทอร์ไบน์ชุดถอยหลังให้เพลาใบจักรหมุนกลับทาง)	ร.ล.พุทธยอดฟ้าจุฬาโลก ร.ล.พุทธเลิศหล้านภาลัย
ใบจักรปรับพิทช์ไม่ได้ (FPP)	- ระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล (Reduction Reversing Gearbox) (เมื่อต้องการให้เรือถอยหลัง กระทำโดยกลับทางหมุนเพลาใบจักรที่ชุด Gearbox เครื่องจักรใหญ่หมุนทางเดิม)	เรือชุด PGM เรือชุด ตกป. เรือชุด PCF เรือชุด ร.ล.ตาปี เรือชุด ร.ล.ช้าง เรือชุด ร.ล.สุรินทร์ เรือชุด ร.ล.กูด เรือชุด ร.ล.ปราบปรปักษ์ เรือชุด ร.ล.ชลบุรี
ใบจักรปรับพิทช์ได้ (CPP)	- ระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล (Reducing Non Reversing Gearbox) (เมื่อต้องการให้เรือถอยหลัง ทำโดยระบบปรับพิทช์ใบจักร /	เรือชุด ร.ล.รัตนโกสินทร์ เรือชุด ร.ล.เจ้าพระยา เรือชุด ร.ล.นราธิวาส

	เพลาใบจักรหมุนทางเดิม)	เรือชุด ร.ล.ราชฤทธิ์ เรือชุด ร.ล.บางระจัน
ใบจักรปรับพิทช์ได้ (CPP)	- ระบบขับเคลื่อน CODOG (เมื่อต้องการให้เรือถอยหลัง ทำโดยระบบปรับพิทช์ใบจักร / เพลาใบจักรหมุนทางเดิม)	เรือชุด ร.ล.นเรศวร เรือชุด ร.ล.มกุฎราชกุมาร เรือชุด ร.ล.จักรีนฤเบศร
VSP	- Voith – Dchneider Propulsion (Diesel Engine) (ใบจักรหมุนได้ 360 องศา เรือสามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง / เครื่องหมุนทางเดิม)	เรือชุด ร.ล.ลาดหญ้า

บทที่ 4
ระบบส่งกำลังขับ

1. การเปลี่ยนกำลังเครื่องยนต์เป็นกำลังขับเคลื่อน (Converting Power to Drive)

คุณลักษณะพิเศษของอุปกรณ์ขับเคลื่อนเรือ คือ การทำหน้าที่ได้ทั้งเป็นกลไกเปลี่ยนความเร็ว และเปลี่ยนทิศทางหมุนของเพลาใบจักร โดยมีเครื่องยนต์ (Main Engine) ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังขับ ส่วนกลไกที่ทำหน้าที่ลดรอบเครื่องยนต์ส่งไปขับเพลาใบจักรเพื่อให้รอบของเครื่องยนต์และเพลาใบจักรทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ประกอบด้วยหมู่เฟืองต่าง ๆ ทำงานร่วมกัน เรียกว่า หมู่เฟืองทดรอบ (Reduction Gear)

หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรหลัก (Main Reduction Gear) เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และราคาต่อหน่วยที่แพงที่สุดอุปกรณ์หนึ่งที่พบในแผนกช่างกล เมื่อมีการติดตั้งหมู่เฟืองทดรอบหลัก ไว้อย่างเหมาะสม และสามารถปฏิบัติงานได้อย่างสมบูรณ์ เป็นที่น่าพึงพอใจได้เป็นเวลานานหลายปี

หมู่เฟืองทดรอบ (Reduction Gear)

อย่างไรก็ตาม หากมีสิ่งผิดปกติหรือเกิดความเสียหายขึ้นกับหมู่เฟืองทดรอบหลักแล้ว จะส่งผลต่อการดำเนินงานหรือจำเป็นที่ต้องลดความเร็วลงมาซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถปฏิบัติภารกิจให้สำเร็จได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้และทำความเข้าใจกับหมู่เฟืองทดรอบ (Main Reduction Gear)

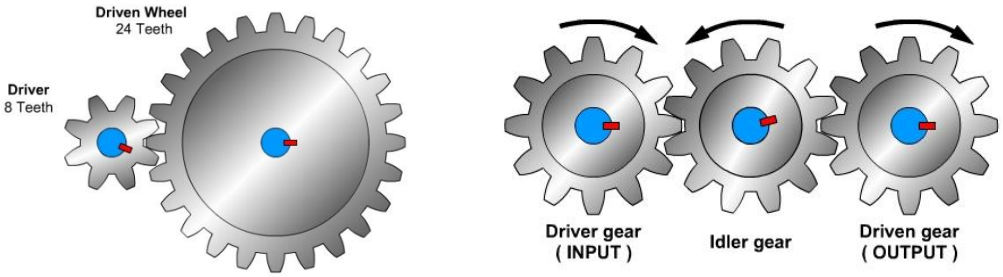
ในบทนี้ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับความรู้พื้นฐาน การใช้งาน การดูแลรักษาและการบำรุงรักษา หมู่เฟืองทดรอบ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องซึ่งพบได้ในเรือของกองทัพเรือ การออกแบบและรายละเอียดต่างๆ รวมทั้งการบำรุงรักษาหมู่เฟืองทดรอบในแต่ละแบบนั้น ดูที่คู่มือประจำอุปกรณ์ของผู้ผลิตเป็นหลัก (The manufacture’s Technical Manual)

2. หมู่เฟืองทดรอบ (Reduction Gear)

2.1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเฟือง (General Gear Information)

เฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว คาดว่าตั้งแต่ยุคที่มนุษย์เริ่มมีอารียะธรรมและคิดประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมา โดยเริ่มต้นที่เฟืองไม้ในยุคโบราณ เฟืองทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี การส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้จากการถ่ายโมเมนต์หมุนระหว่างเพลาเฟือง 2 เพลา ที่มีระยะห่างระหว่างแกนเพลาที่สั้น โดยถ่ายเทในรูปของแรง หมายความว่า ไม่มีการสูญเสียจากการลื่นเหมือนสายพาน จึงมีอัตราทดที่คงที่ เฟืองเหมาะสมทั้งการหมุนรอบต่ำจนถึงรอบสูงๆ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นเฟืองชนิดใด ตามแต่ตำแหน่งของเฟืองเพลาที่วางไว้ประกบกัน

เฟืองและเพลาขับที่ต่อตรงมาจากเครื่องต้นกำลังขับ (เครื่องจักรใหญ่, มอเตอร์) เรียกส่วนนั้นว่า “Input” และเฟืองตัวสุดท้ายที่ส่งกำลังออกสู่เพลา เรียกว่า “Output”



ประสิทธิของความเร็วรอบที่เกิดจากการทำงานของเพลาข้อเสือ (Crankshaft Speed) จะมากกว่าประสิทธิภาพความเร็วรอบของเพลาใบจักรที่หมุนวนในน้ำที่มีความหนาแน่นของน้ำเกลือ (Salt Water) การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากสาเหตุดังกล่าวซึ่งนำไปใช้ในการขับเคลื่อนที่ส่งกำลังงานให้เพลาใบจักรโดยส่งกำลังออกผ่านหมู่เฟืองทดรอบ

เพลาตามที่ส่งกำลังออก (Out Put) ไปที่เพลาใบจักรมีฟันเฟืองมากกว่าฟันเฟืองของเพลาขับที่มาจากเพลาข้อเสือดังนั้นเพลาตามจะหมุนช้ากว่า จำนวนฟันของแต่ละเฟืองมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันที่ไม่เพียงแต่ความเร็วเท่านั้นแต่ยังมีเรื่องการส่งต่อแรงบิดที่กระทำ ต่อกันอีกด้วย

เฟืองและการทำงานของเฟือง

อัตราส่วนการทดรอบ ของเฟืองสามารคำนวณด้วยวิธีการดังนี้

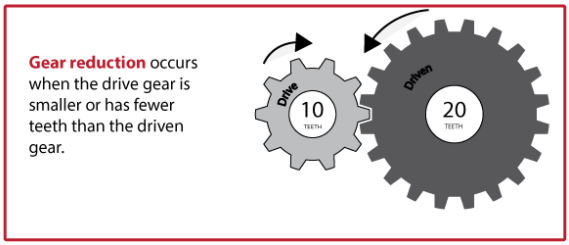
$$\frac{\text{จำนวนฟันของเฟืองตัวใหญ่}}{\text{จำนวนฟันของเฟืองตัวเล็ก)}} = \frac{16}{8} = 2 \quad \text{หรือ อัตราส่วนการทดเฟืองเท่ากับ } 2:1$$

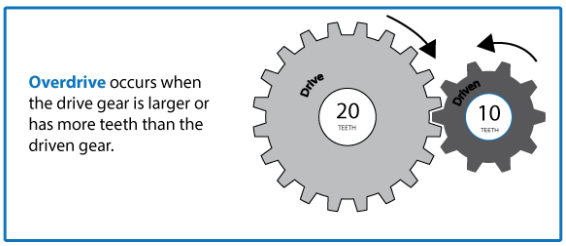
ดังนั้น ถ้าความเร็วรอบของเครื่องยนต์คือ 1,000 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของเพลาใบจักรจะเป็น 500 รอบต่อนาทีจะได้อัตราทดรอบ ดังนี้

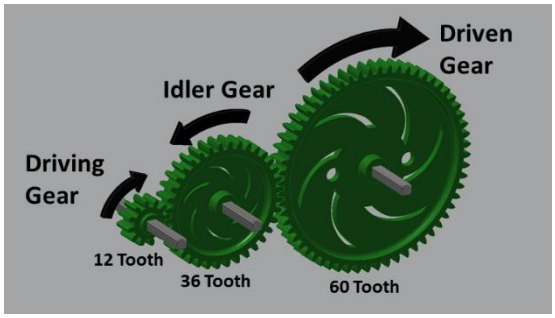
$$\frac{\text{จำนวนรอบของเครื่องจักรใหญ่}}{\text{จำนวนฟันของเพลาใบจักร}} = \frac{1,000}{500} = 2 \quad \text{หรือ อัตราส่วนการทดรอบเท่ากับ } 2:1$$

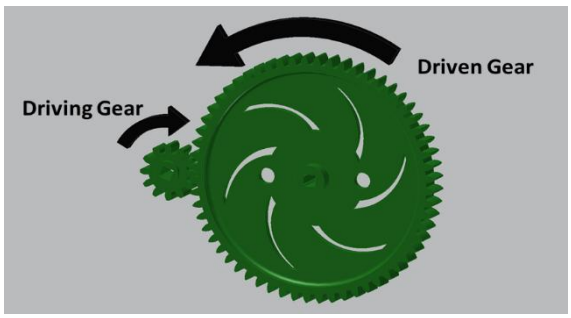
เครื่องยนต์ส่งความเร็วออกมาเป็นสองเท่าของความเร็วจากเพลาใบจักรซึ่งไม่คิดคำนวณค่าประสิทธิภาพที่เสียไปจากแรงต้านและความร้อน เรือนหมู่เฟืองทดรอบที่ใช้ในเรือถูกออกแบบให้ลดรอบของเพลาใบจักรแต่ในบางกรณีก็ยังต้องการความเร็วที่ออกจากเพลาใบจักรให้สูงกว่า ดังนั้น นี้คือพื้นฐานการใช้เฟืองที่มีขนาดเล็กกว่าเพื่อให้มีความเร็วในการส่งออกที่สูงขึ้นและสูญเสียด้านเชิงกลน้อย

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าการเพิ่มวงเฟืองทำให้การหมุนเปลี่ยนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับวงเฟืองขับอีกด้วย (In Reverse)









2.2. หน้าที่ของหมู่เฟืองทดรอบ

การทำงานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (ต้นกำลังขับ) ต้องเดินรอบสูง แต่การทำงานที่มีประสิทธิภาพของใบจักรอยู่ที่การหมุนรอบต่ำ ดังนั้นหมู่เฟืองลดรอบจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ทำให้ทั้งเครื่องจักรใหญ่และใบจักรทำงานอยู่ภายในย่านความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การใช้งานหมู่เฟืองทดรอบไม่จำกัดอยู่เฉพาะการขับเคลื่อนเรือเท่านั้น เครื่องจักรกลอื่น ๆ ในเรือ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องจักรช่วย รอบความเร็วที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องที่เป็นต้นกำลังขับก็สูงกว่ารอบการทำงานที่เหมาะสมของตัวเครื่องกำเนิดหรือเครื่องจักรช่วยเช่นกัน

2.3. ชนิดของเฟืองและการนำไปใช้งาน (Type of Gears)

เฟืองเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ถ่ายทอดกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งด้วยอัตราความเร็วที่คงที่และต่อเนื่อง แบบหรือลักษณะต่าง ๆ ของเฟืองเพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งานและคุณลักษณะอย่างอื่น

โดยทั่วไปแล้วเราแบ่งประเภทของเฟืองออกเป็นชนิดต่างๆ ตามรูปร่างและลักษณะของการวางเพลาส่งกำลังได้ 3 ชนิด ดังนี้คือ

2.3.1. การส่งกำลังเพลาขนานกัน (Parallel Shafts)

เฟืองที่ใช้วิธีการส่งกำลังแบบนี้มี 5 ชนิด

2.3.1.1 เฟืองตรงภายนอก (External Spur Gear)เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่าง ๆ ฟันเฟืองทำอยู่บนผิวภายนอกของวัสดุรูปทรงกระบอก มีลักษณะเฉพาะคือฟันของเฟืองจะเป็นแนวขนานไปกับรูเพลา โดยเฟืองตรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเฟืองขนานกับเพลา (Parallel–Shaft Gear)

เฟืองตรงเป็นเฟืองที่มีโครงสร้างง่ายและไม่สลับซับซ้อน โดยถ้าเฟืองตรงสองตัวขบกันเราเรียกว่าเฟืองพีเนียน (Pinion Gears) โดยทั่วไปแล้วเฟืองตรงที่ใช้ส่งกำลังแต่ละคู่นั้นจะมีขนาดของฟันเฟืองหรือโมดูล (Module, m) เท่า ๆ กัน หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากันแต่การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากจำนวนฟันที่ต่างกัน (อัตราทด , Ratio) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component) การทำงานส่วนมากเฟืองขับ (Driving Gear) หรือ (Pinion) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (Driven Gear)

ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง

* ง่ายในการผลิต เนื่องจากรูปแบบของฟันเฟืองไม่สลับซับซ้อนส่งผลให้ราคาต่ำกว่าเฟืองชนิดอื่น
* ไม่มีแรงรุน (Trust) ที่เกิดขึ้นในแนวแกน (No Axial Force) ในขณะที่ทำงาน
* มีความง่ายในการผลิตให้มีคุณภาพสูง
* เนื่องจากเป็นเฟืองแบบธรรมดาจึงมีความง่ายในการหาซื้อ

2.3.1.2 เฟืองตรงภายใน / เฟืองวงแหวน (Internal Spur Gear / Ring Gear)

เฟืองตรงภายในหรือเฟืองวงแหวนเป็นเฟืองตรงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเฟืองตรงภายนอก แต่ฟันเฟืองจะทำไว้บนผิวด้านในของวัสดุวงกลมรูปทรงกระบอก ซึ่งต้องใช้คู่กับเฟืองขนาดเล็กกว่าที่ขบอยู่ด้านในซึ่งโดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ เฟืองวงแหวนทำหน้าที่เป็นเฟืองตาม เฟืองวงแหวนจะใช้งานในลักษณะที่ต้องการให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกัน

สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) โดยที่ถ้าหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมากและถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย

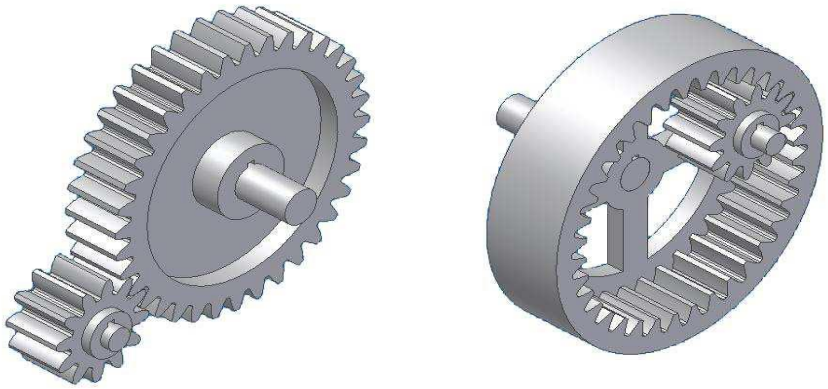
2.3.1.3 เฟืองสะพาน (Rack Gear)

ในหนึ่งชุดของเฟืองสะพานนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเฟือง (Gear) ตัวขับซึ่งส่วนมากแล้วจะเป็นเฟืองตรง (Spur Gear) แต่ในบางอุปกรณ์อาจเป็นเฟืองเฉียงก็มี และส่วนที่เป็นเฟืองสะพาน (Rack) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งเหล็กยาวตรงสี่เหลี่ยมหรือทำบนแท่งเหล็กกลม และใช้งานร่วมกับฟันเฟืองซึ่งอยู่ด้านบนขบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear) หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะให้เฟืองตรง

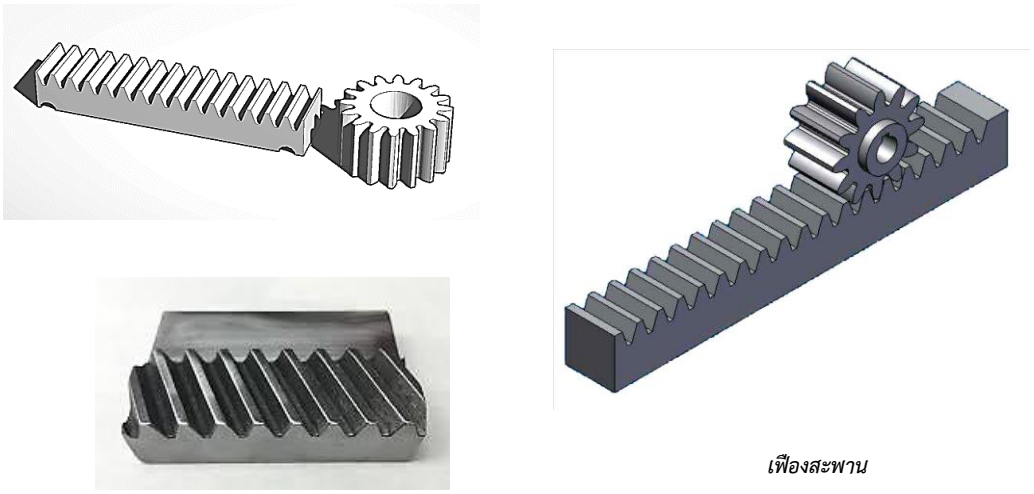
จะหมุนขับให้เฟืองสะพานเลื่อนไปมา การหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา

การใช้งานเฟืองสะพาน

* การส่งถ่ายกำลังในเครื่องจักรกล
* ใช้กับเครื่องพิมพ์หรือเครื่อง Plot ขนาดใหญ่
* หุ่นยนต์ (Robot)
* การส่งถ่ายกำลังในระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์ (Steering)



เฟืองตรงภายนอกและเฟืองตรงภายใน



เฟืองสะพาน

2.3.1.4 เฟืองเฉียง (Helical Gear)

เฟืองเฉียงมีลักษณะทั่วไปเหมือนเฟืองตรง แต่ลักษณะแนวของฟันเฟืองจะไม่ขนานกับเพลา ฟันเฟืองจะเอียงทำมุมเฉียงกับเฟืองไปเป็นมุมที่ต้องการบนผิววัตถุทรงกระบอกโดย โดยเฟืองเฉียงแต่ละคู่ที่ขบกันเพื่อส่งกำลังนั้น เฟืองหนึ่งฟันเฟืองจะเอียงไปทางซ้ายและอีกฟันเฟืองหนึ่งจะเอียงไปทางขวาในมุมที่เท่ากันซึ่งการ

เอียงไปทางซ้ายหรือทางขวาขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งานและการออกแบบของผู้ผลิต การทำเช่นนี้ทำให้การขบกันราบเรียบของเฟืองมีเสียงดังน้อยสามารถถ่ายทอดกำลังหมุนได้ดีในความเร็วรอบสูง

แต่เนื่องจากการทำมุมของฟันเฟืองจะทำให้เกิดแรงรุน (Thrust Load) ตามแนวแกนเพลา ซึ่งถ้าแรงรุนมีมากก็สามารถทำให้เฟืองเสียหายได้

ลักษณะเฉพาะของเฟืองเฉียง

* เมื่อเปรียบเทียบการรับภาระ (Load) แล้ว สำหรับเฟืองขนาดเดียวกัน เฟืองเฉียง (Helical Gear) สามารถรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง (Spur Gear) เนื่องจากการที่ฟันเฟืองมีลักษณะเอียงจึงทำให้ความยาวของฟันเฟืองยาวกว่าและพื้นที่หน้าสัมผัสของฟันมีมากกว่าเฟืองตรง

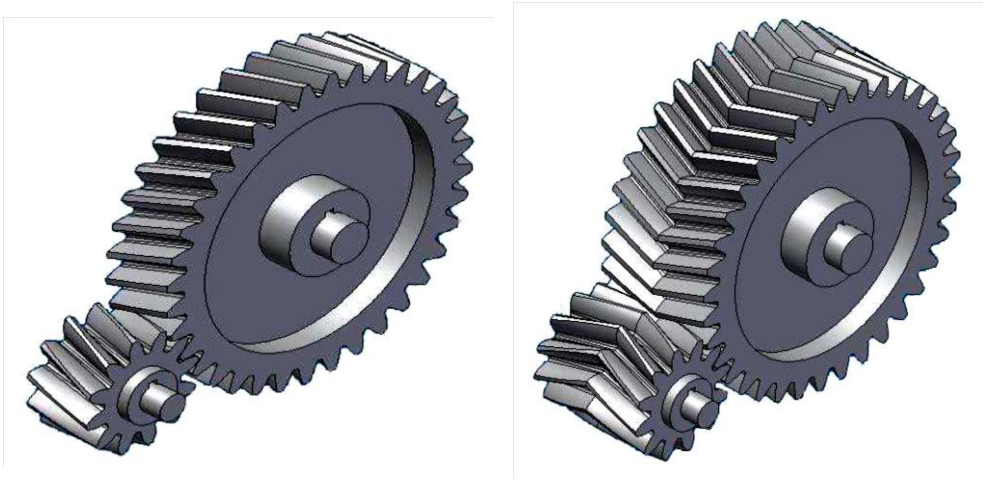
* เสียงในขณะทำงานของเฟืองเฉียงจะเงียบกว่าเฟืองตรงเนื่องจากการขบกันของเฟืองจะกระทำอย่างนิ่มนวลกว่า เนื่องจากมุมที่เฉียงของฟันเฟืองทำให้เกิดการเหลื่อม (Overlap) กันของฟันเฟืองขณะหมุน

* เกิดแรงรุน (Trust) ตามแนวแกนมากกว่าในขณะที่หมุนเนื่องจากการเอียงของฟันเฟืองที่มากซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของแบริ่งลดต่ำลง

2.3.1.5 เฟืองก้างปลา (Herring bone gear / Double Helical Gears)

ลักษณะของเฟืองเหมือนการนำเอาเฟืองเฉียง 2 อัน มาวางขบคู่ให้มีมุมตรงข้ามกันในลักษณะที่สมมาตร เพื่อทำให้เกิดแรงรุนในแนวแกนเพลาในทิศทางตรงข้าม ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถรักษาข้อดีของเฟืองเฉียงไว้ได้ คือเสียงที่เงียบขณะทำงานรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง ในขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะทำงานก็ยังคงน้อยเมื่อเทียบกับเฟืองตรงทำให้สามารถการป้องกันการเสียหายของเฟืองจากแรงรุนได้

จากลักษณะของเฟืองก้างปลาที่มุมเอียงของเฟืองเอียงเข้าหากันในลักษณะที่องศาเท่ากันทำให้ผลลัพธ์ของแรงรุน (Trust Load) เท่ากับศูนย์ทำให้แบริ่งไม่ต้องรับแรงมากแต่การสร้างจะมีราคาแพง



เฟืองเฉียงและเฟืองก้างปลา

3. การส่งกำลังเพลาตัดกัน (Intersecting Shafts)

การส่งกำลังของเฟืองวิธีนี้จะใช้เฟืองดอกจอก **(Bevel Gear) เป็นอุปกรณ์สำคัญ** เฟืองดอกจอกมีรูปทรงคล้ายกับกรวยมีทั้งแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear) และแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear) เฟืองดอกจอกเป็นเฟืองสองตัวที่ขบกันในลักษณะแนวเพลา (Shaft) ของเพลาทั้งคู่จะตั้งฉากหรือตัดกัน (Intersect) โดยส่วนมากแล้วเพลาของเฟืองทั้งคู่จะตั้งฉากกันเป็นมุม 90 องศา

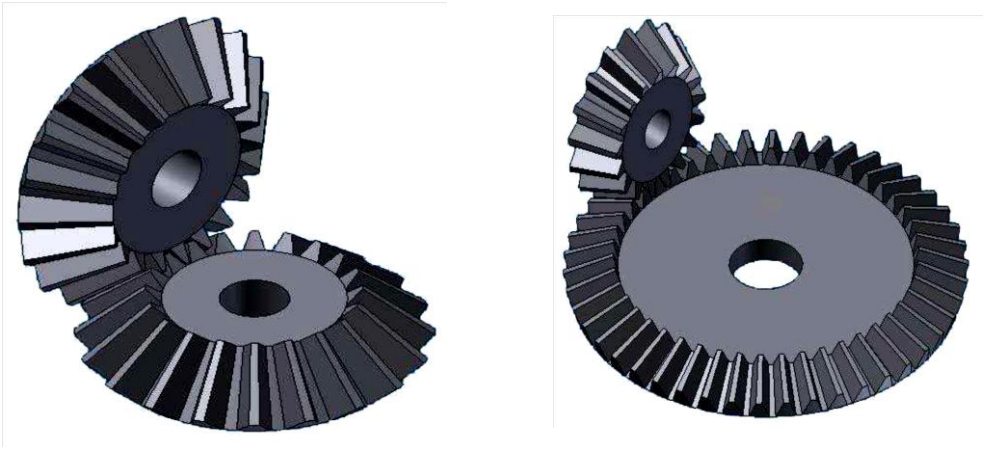
3.1. เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)

ฟันเฟืองจะทำบนผิวของวัสดุรูปทรงกรวย มีลักษณะของฟันเฟืองเป็นเฟืองตรง ฟันเฟืองดอกจอกจะเป็นโค้งอินโวลูต (Involute) แต่ฟันเฟืองจะเรียงไปตามกรวย โดยที่แนวของฟันเฟืองจะเป็นแนวเดียวกับยอดของเฟือง โดยจะทำ

เป็นมุมตัดกับแนวแกนเพลาซึ่งสามารถวางแนวแกนเพลาทำมุมเท่าไรก็ได้แต่ส่วนมากนิยมวางทำมุม 90 องศาและสามารถทดกำลัง โดยสร้างเฟืองอีกตัวหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ข้อเสียจะมีเสียงดังมากในขณะทำงาน

คุณสมบัติเฉพาะของเฟืองแบบนี้คือ

* ง่ายต่อการผลิตจึงทำให้มีราคาถูกกว่า
* สามารถทำอัตราทดสูงสุดได้ถึง 1:5



เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง

3.2 เฟืองดอกจอกฟันโค้ง (Spiral Bevel Gear)

ฟันของเฟืองแบบนี้จะมีลักษณะเป็นแนวโค้ง (Curve) คล้ายเกลียวออกไปรอบ ๆ รัศมีของเฟือง (ต่างจากแบบฟันตรงที่ฟันของแบบนั้นจะออกมาตรง ๆ ตามแนวรัศมีของเฟือง) และแนวด้านบนของฟันก็จะลาดลงในลักษณะโค้งจากด้านในออกไปสู่ด้านนอกขอบฟันเพื่อให้ปลายด้านหนึ่งของแต่ละฟันขบกัน ก่อนปลายอีกด้านหนึ่งของฟันคู่หน้าจะจากกัน การที่เฟืองมีลักษณะโค้งแบบนี้ทำให้มีพื้นที่สัมผัสหรือพื้นที่รับแรงมากกว่าแบบเฟืองตรงทำให้มีความทนทานมากกว่า การถ่ายทอดกำลังราบเรียบและเสียงในขณะการทำงานน้อยกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง

คุณสมบัติเฉพาะในการใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง ที่โดดเด่นมีดังนี้คือ

* สามารถออกแบบให้อัตราทด (Ratio) มากกว่า มีความแข็งแรงทนทานมากกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง
* เหมาะสำหรับใช้กับอัตราทดของเฟืองที่มาก ๆ
* มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังที่ดีกว่าในขณะที่การทำงานเงียบกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง
* มีความยากกว่าในการออกแบบและสร้าง จึงทำให้มีราคาแพงกว่า

การใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง ใช้งานมากในยานพาหนะทั้งบกและน้ำ เช่น ในอุปกรณ์และชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะในระบบส่งกำลังและขับเคลื่อนในระบบเฟืองส่งกำลังของเรือ

เฟืองดอกจอกฟันโค้ง

4. การส่งกำลังเพลาข้ามกัน (Crossed shafts)

4.1 เฟืองเฉียงขวาง (Crossed helical gear)

การขบของฟันเฟืองมีลักษณะมีการสัมผัสเป็นจุด ใช้ในงานส่งกำลังน้อย ๆ เท่านั้น

4.2 เฟืองหนอน (Worm Gear)

เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) ซึ่งมีลักษณะของเกลียวที่วางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) เหมือนลักษณะของสกรูและเฟือง (Worm Wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้าย ๆ กับเฟืองเฉียง (Helical Gear) แต่จะต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงสันฟันเฟืองจะมีลักษณะเว้าเพื่อให้รับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอน

แนวเพลาขับ (Worm Shaft) และเพลาตาม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการลื่นไถล (Sliding)

อัตราทดของเฟืองตัวหนอนสามารถทำได้มาก เนื่องจากลักษณะเฉพาะทางรูปแบบของเฟือง โดยอัตราทดสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) ถึงศูนย์กลางของเฟือง (Worm Wheel) หรือที่เรียกว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (Center Distance) โดยถ้า Center Distance ยิ่งมากแสดงว่าอัตราทดของเฟืองจะยิ่งมาก ซึ่งในบางชุดเฟืองอาจทดมากกว่า 1 ชุด โดยอาจเป็นสองหรือสามชุด ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองจะมากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง

ลักษณะเฉพาะของเฟืองตัวหนอนโดยสรุปได้มีดังนี้คือ

* สามารถทำอัตราทดได้สูงโดยการเพิ่มความห่างของระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (Center Distance)
* ขณะทำงานจะมีความเงียบและการสั่นสะเทือนน้อย

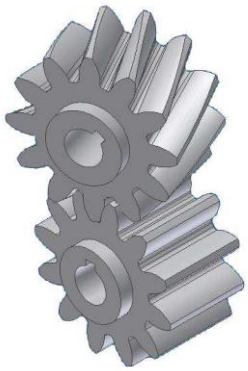
4.2.1 เฟืองหนอนชนิดฟันโอบด้านหนึ่ง (Single enveloping worm gear)

เฟืองหนอนมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับเฟืองเฉียง แต่ขอบของฟันมีลักษณะโค้งเว้า การใช้งานใช้ทำงานร่วมกับเกลียวหนอนและผิวหน้าของฟันเฟืองหนอนโอบฟันเกลียวหนอน ส่วนมากใช้ในการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ตั้งฉากกัน และใช้ในการทดกำลังมาก ๆ ด้วย

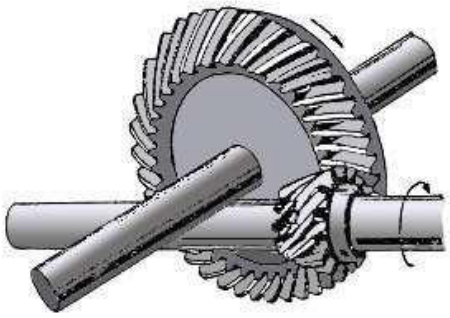
4.2.2 เฟืองหนอนชนิดฟันโอบสองด้าน (Double enveloping)

คือ ฟันเฟืองหนอนและเกลียวหนอนต่างโอบซึ่งกันและกัน

เฟืองหนอนชนิดฟันโอบด้านหนึ่ง



เฟืองเฉียงขวา



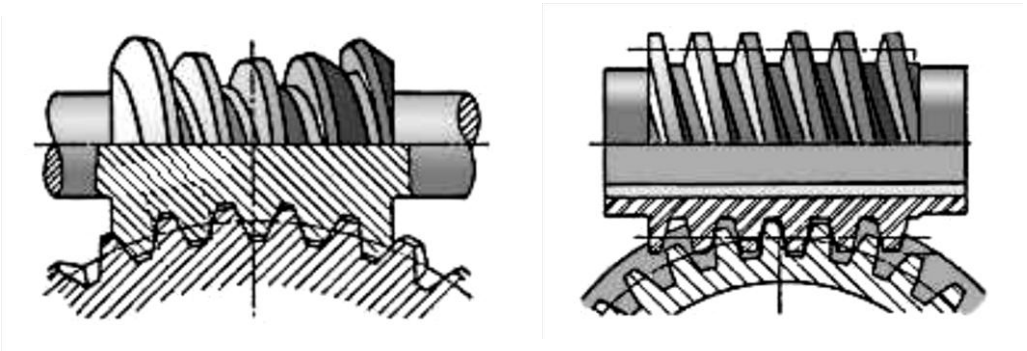
เฟืองหนอนชนิดฟันโอบสองด้าน

4.3 เฟืองไฮพอยด์ (Hypoid gear)

เป็นเฟืองที่ใช้กับเฟืองท้ายของรถยนต์

เป็นเฟืองที่จัดอยู่ในประเภทเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง แต่จะต่างกันตรงที่แกนเพลาของเฟืองไฮปอด์ยนั้น ระนาบแกนของเพลาของเฟืองขับและเพลาของเฟืองตามจะไม่ตัดกันซึ่งรูปทรงของเฟืองไฮปอยด์จะมีลักษณะการหมุนเป็นไฮเปอร์บอลิกและที่ผิวของเฟืองไฮปอยด์จะมีลักษณะเป็นผิวไฮเปอร์บอลิก ในขณะที่ผิวของเฟืองดอกจอกแบบเฉียงจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยธรรมดา (Normally Conical)

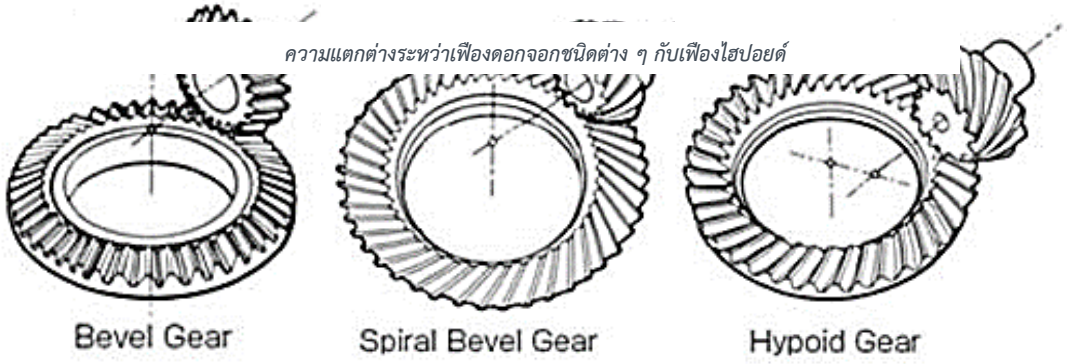
ในการส่งถ่ายกำลังระหว่างฟันเฟืองของเฟืองไฮปอยด์นั้น การถ่ายถอดกำลังจากเฟืองขับไปสู่เฟืองตามจะเป็นไปในลักษณะการลื่นไถล (Sliding) อยู่กึ่งกลางระหว่างเฟืองตรง (Straight Gear) และเฟืองตัวหนอน (Worm Gear) ดังนั้นจึงต้องการสารหล่อลื่นที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นสูงสุดซึ่งโดยปกติแล้วต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องมีความหนืดกว่าเฟืองดอกจอกสำหรับเฟืองที่มีขนาดเท่ากัน



เฟืองไฮพอยด์ (Hypoid gear)

สรุปเรื่องชนิดของเฟือง จากรายละเอียดของ

ความแตกต่างระหว่าเฟืองดอกจอกชนิดต่าง ๆ กับเฟืองไฮปอยด์



เฟืองที่ผ่านมา คงจะทำให้มีความเข้าใจเรื่องเฟืองขึ้นมาไม่มากก็น้อย การแบ่งประเภทของเฟืองยังมีการแบ่งอีกอย่างหนึ่งคือลักษณะของฟันและชนิดของเฟืองตามรูปร่างและลักษณะการใช้งานซึ่งการที่จะให้ฟันเฟืองขบกันได้สนิท ไม่มีความฝืดเสียงเงียบจะต้องให้ฟันเฟืองมีรูปทรงเหมือนกันทั้งเฟืองขับและเฟืองตาม ซึ่งปัจจุบันมีระบบฟันเฟืองแบบอีเวอร์สูง ซึ่งเป็นแนวเส้นโค้งส่วนหนึ่งของวงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่บนวงกลมเฟืองห่างไปจากจุดฟันเฟืองนั้นๆ ซึ่งกำหนดเป็นมาตราฐานไว้แล้ว โดยคำจำกัดความส่วนต่าง ๆ ของเฟืองมีดังต่อไปนี้

5. ส่วนต่าง ๆ ของเฟืองและขนาดฟันเฟืองตรง

5.1. คำจำกัดความส่วนต่าง ๆ ของเฟือง

วงกลมพิทช์ (Pitch Circle)

คือ แนววงกลมทางทฤษฎีที่เฟืองทั้งคู่สัมผัสกันและกันใช้เป็นเส้นแบ่งฟันเฟืองเป็นส่วนของยอดฟันและโคนฟัน

เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิทช์ (Pitch Diameter)

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ ใช้ในการบอกขนาดและการคำนวณเกี่ยวกับเฟือง

ระยะพิทช์ในแนวเส้นรอบวง (Circular Picth)

p คือ ระยะที่วัดบนเส้นรอบวงกลมพิทช์จากจุดหนึ่งบนฟันไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไป มีค่าเท่ากับความหนาของฟันบวกความกว้างของร่องฟัน

ความสูงยอดฟัน (Addendum)

คือ ระยะในแนวรัศมี วัดจากวงกลมพิทช์ถึงปลายฟัน

ความสูงโคนฟัน (Dedendum)

คือ ระยะในแนวรัศมี วัดจากวงกลมพิทช์ถึงโคนฟัน

เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน (Outside Diameter)

คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากยอดฟันข้างหนึงผ่านจุดศูนย์กลางไปยังยอดฟันด้านตรงข้าม

เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน (Root Diameter)

คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากโคนฟันข้างหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังโคนฟันด้านตรงข้าม

ความสูงของฟันเฟือง (Whole Depth)

เป็นผลรวมของความสูงยอดฟันกับความสูงโคนฟัน

ความสูงใช้งาน (Working Depth)

คือ ความลึกของฟันเฟืองที่ขบเข้าไปในช่องว่างระหว่างฟันจะเท่ากับสองเท่าของความสูงยอดฟัน หรือ ความสูงของฟันเฟืองลบช่องว่าง

ช่องว่าง (Clearance)

คือ ช่องว่างระหว่างยอดฟันกับระยะต่ำสุดของร่องฟัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ความสูงโคนฟันลบด้วยความสูงยอดฟัน

วงกลมช่องว่าง (Clearance Circle)

เป็นวงกลมที่สัมผัสกับวงกลมยอดฟันของเฟืองที่มาขบกัน

ความหลวม (Backlash)

เป็นระยะที่ร่องฟันมีค่ามากกว่าความหนาของฟัน ที่มาขบกันวัดตามแนววงกลมพิทช์

ความหนาของฟันเฟือง (Circular Thickness)

ความหนาของฟันที่วัดตามความยาวของวงกลมพิทช์

ความหนาคอร์ด (Chordal Thickness)

ความหนาของฟันเฟืองวัดตามความยาวคอร์ดของวงกลมพิทช์

ความสูงคอร์ด (Chordal Addendum)

คือ ระยะความสูงยอดฟันวัดจากคอร์ดของวงกลมพิทช์ไปยังยอดฟัน

ความหนาของฟัน (Face Width)

ความหนาของฟันเฟืองวัดในแนวแกนเพลา

แฟลงค์ (Flank)

ผิวด้านข้างของฟันเฟืออยู่ระหว่างวงกลมพิทช์กับวงกลมโคนฟัน

พื้นที่ปลายฟัน (Top Land)

พื้นที่ส่วนปลายฟันเฟือง

พื้นที่โคนฟัน (Bottom Land)

พื้นที่ส่วนโคนฟันเฟือง

จุดพิทช์ (Pitch Point)

เป็นจุดสัมผัสของวงกลมพิทช์ของเฟืองที่ขบกัน

มุมกดเฟือง (Pressure Angle)

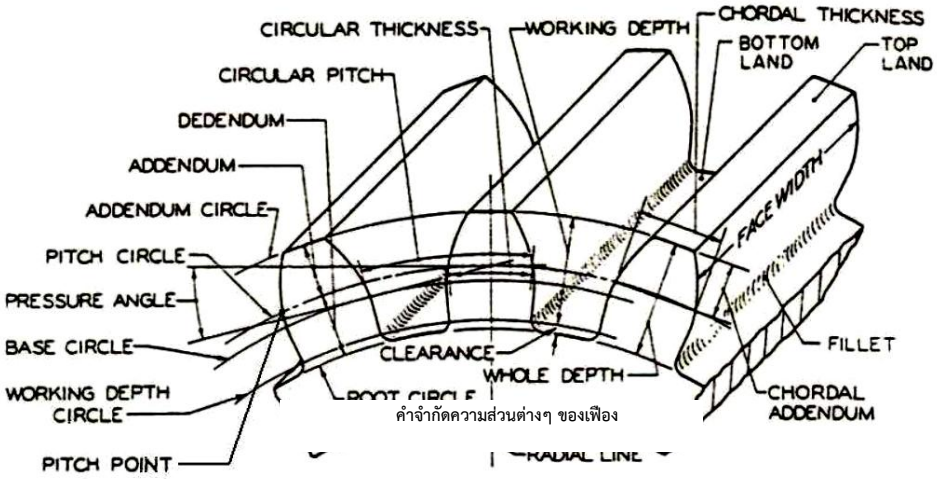
มุมที่เกิดขึ้นจากทิศทางการขบของเฟืองกับส่วนโค้งอินโวลูท (Involute) ของฟันเฟืองอินโวลูทซึ่งจะทำมุมกดดันกับเส้นตั้งฉากกับแนวจุดศูนย์กลางที่จุดพิทช์

แนวกดดัน (Pressure Line)

เป็นแนวซึ่งแรงกดดันของเฟืองตัวหนึ่งกระทำผ่านจุดพิทช์ไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่ง

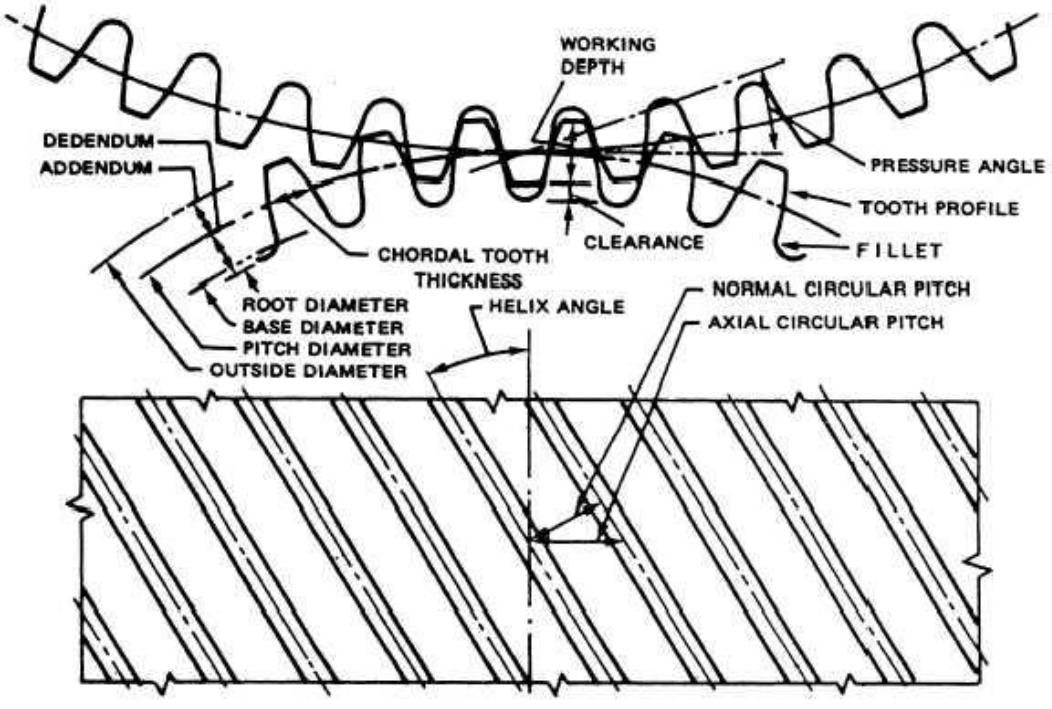
วงกลมฐาน (Base Circle)

เป็นวงกลมที่สัมผัสกับแนวกดดัน เป็นวงกลมที่ใช้ทำส่วนโค้งอินโวลูท (Involute) ในการเขียนแบบเฟือง



คำจำกัดความส่วนต่างๆ ของเฟือง

6. หมู่



แผนภาพส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง

เฟืองทดรอบที่ใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ (Reduction Gearboxes Of Marine Propulsion)

เฟืองต้นแบบที่ใช้ในเฟืองทดรอบเพลาใบจักรเป็นเฟืองแบบฟันเฉียงคู่ (Double Helical Gear Type) ชนิดเฟืองฟันนอก (External Teeth) วางในลักษณะเพลาขนานกัน (หมู่เฟืองทดรอบครั้งเดียวของเรือบางประเภทอาจให้เฟืองแบบฟันเฉียงเดียว) การออกแบบผิวสัมผัสของเฟืองฟันเฉียงมีลักษณะโค้งนูน (Involute) เพื่อลดและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากการขบกันของเฟืองไม่ได้ระยะศูนย์กลางซึ่งอาจเกิดได้ชั่วขณะ (โค้งนูนของฟันเฟืองทำให้เปลี่ยนแปลงระยะความลึกของฟันเฟืองคู่ที่ขบกัน)

7. หน้าที่ของหมู่เฟืองทดรอบในระบบขับเคลื่อนเรือ

การทำงานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (ต้นกำลังขับ) ต้องเดินรอบสูง แต่การทำงานที่มีประสิทธิภาพของใบจักรอยู่ที่รอบต่ำ ดังนั้น หมู่เฟืองทดรอบจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้ทั้งเครื่องยนต์ (Main Engine) และใบจักร (Propeller) ทำงานอยู่ภายในย่านความเร็วรอบ (RPM) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การใช้งานหมู่เฟืองทดรอบไม่จำกัดอยู่เฉพาะการขับเคลื่อนเรือเท่านั้น เครื่องจักรกลอื่นๆ ในเรือ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องจักรช่วย รอบความเร็ว (RPM) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องที่เป็นต้นกำลังขับก็สูงกว่ารอบการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเครื่องจักรช่วยเช่นกัน

8. การแบ่งประเภทของเฟืองทดรอบที่ใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ (Classification Of Marine Propulsion Reduction Gearboxes)

หมู่เฟืองทดรอบต่ออยู่ระหว่างเครื่องต้นกำลังขับ (เครื่องจักรใหญ่) และเพลาใบจักร การแบ่งประเภทหมู่เฟืองทดรอบระบบขับเคลื่อนเรือแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ แบ่งตามจำนวนครั้งที่ทด (Number Of Step) ของรอบที่ทำการทด และ แบ่งตามลักษณะโครงสร้างของหมู่เฟือง (Gear Arrangement) โดยมีรายละเอียดดังนี้

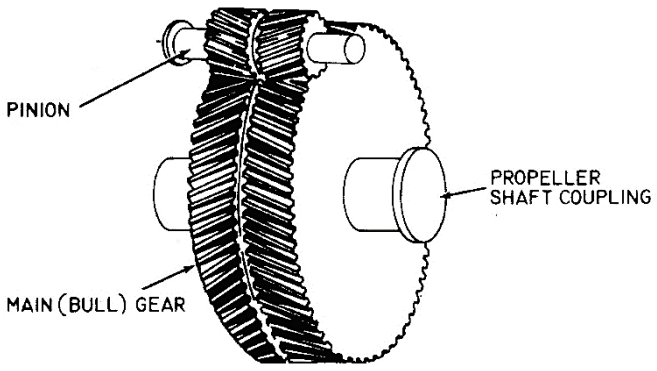
8.1. การแบ่งตามจำนวนครั้งที่ทด (Number Of Step)

8.1.1. เฟืองทดรอบครั้งเดียว (Single-Reduction Gear)

เป็นหมู่เฟืองทดที่ประกอบด้วยเฟืองขนาดเล็กจำนวน 1 คู่ (หรือเฟืองเดี่ยว) สัมผัสอยู่บนเฟืองขนาดใหญ่ที่ต่อกับเพลาใบจักรตามโครงสร้างของเฟืองทดประเภทนี้ อัตราการทด (Ratio) ถูกกำหนดโดยขนาดของเฟืองทั้งสอง

ตัวอย่างเช่น

อัตราทด 2 : 1 หมายถึง เฟืองทดรอบ (Gear) หรือเฟืองที่ถูกขับบนเพลาใบจักรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่เป็น 2 เท่าของเฟืองขับ (Pinion) หรือเฟืองที่ปลายเพลาของเครื่องขับ หรือ อัตราทด 10:1 หมายถึง เฟืองทดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่เป็น 10 เท่าของเฟืองขับ เป็นต้น เฟืองทดประเภทนี้ใช้งานกับเครื่องจักรใหญ่ชนิดเครื่องยนต์ดีเซลและมอเตอร์ไฟฟ้า (ที่มีอัตราการหมุน 1,000 รอบ/นาที หรือต่ำกว่า) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเครื่องจักรช่วย



เฟืองทดรอบครั้งเดียว (Single-Reduction Gear)

8.1.2. เฟืองทดรอบ 2 ครั้ง (Double-Reduction Gear)

หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรของเรือประเภทขับเคลื่อนด้วยเทอร์ไบน์ (ทร.อม.) ที่สร้างตั้งแต่ปี 1935 เป็นแบบเฟืองทดรอบ 2 ครั้ง มีโครงสร้างส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- First Reduction Pinion เป็นเฟืองขับครั้งที่ 1 ที่ต่ออยู่กับเพลาเครื่องขับ

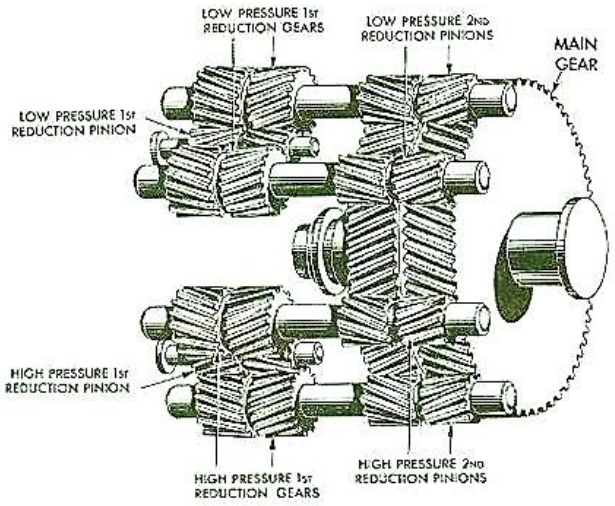
ทำหน้าที่ หมุนขับ First Reduction Gear เฟืองทดรอบครั้งที่ 1

- **Second Reduction Pinion** เป็นเฟืองขับครั้งที่ 2 ที่ต่ออยู่กับเพลาของ First Reduction Gear

ทำหน้าที่ หมุนขับ Second Reduction Gear (Bull Gear หรือ Main Gear) เฟืองทดรอบครั้งที่ 2 ที่ต่อกับเพลาใบจักร

อัตราทดรอบของเฟืองประเภทนี้ เช่น 20 : 1 หมายถึง อัตราทด 2 : 1 ระหว่าง 1 st Red.Pinion กับ 1 st Red.Gear และอัตราทด 10 : 1 ระหว่าง 2 nd Red. Pinion กับ Main Gear การใช้งานกับเครื่องจักรใหญ่ที่มีอัตราการหมุน 1,000 รอบ/นาที ขึ้นไป

หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรแบบทด 2 ครั้ง ชนิด Lock - Train ที่ใช้งานในเรือประเภทขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรไอน้ำชนิดกังหันไอน้ำ ปัจจุบัน (ทร.อม.) นำมาติดตั้งใช้งานในเรือความเร็วสูงหลายประเภทที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์



เฟืองทดรอบ 2 ครั้ง (Double-Reduction Gear)

8.2. แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง (Gear Arrangement)

8.2.1. Articulated

เป็นหมู่เฟืองที่สร้างให้ Second Reduction Pinion ต่อกับ First Reduction Gear ด้วยเพลาและข้อต่อชนิดอ่อนตัวได้ (Quill Shaft And Flexible Coupling หรือ Flexible Quill Shaft) และเฟืองทุกตัวรองรับด้วยแบริ่งทั้ง 2 ด้าน ซึ่ง Flexible Quill Shaft ทำให้การส่งกำลังระหว่างเฟืองทั้งสองเป็นไปในลักษณะราบเรียบ ไม่เกิดการกระตุกกระชาก ส่วนแบริ่งทำหน้าที่รับน้ำหนักและป้องกันเพลาเลื่อนตามแนวแกน Articulated เป็นการออกแบบที่วางเฟืองขับและเฟืองทดไว้ใกล้กัน ทำให้เรือนเกียร์สั้นกะทัดรัด

8.2.2. Locked Train

มีลักษณะโครงสร้างที่สำคัญคือ First Reduction Pinion หมุนขับอยู่ระหว่าง First Reduction Gear จำนวน 2 ตัว และการต่อระหว่าง First Reduction Gear และ 2 nd Reduction Pinion ทั้ง 2 ชุดโดย Flexible Quill Shaft เฟืองทุกตัวรองรับด้วยแบริ่งทั้ง 2 ด้าน ข้อดีของการส่งกำลังด้วยเพลาต่อแบบ Lock-Train คือกำลังของ

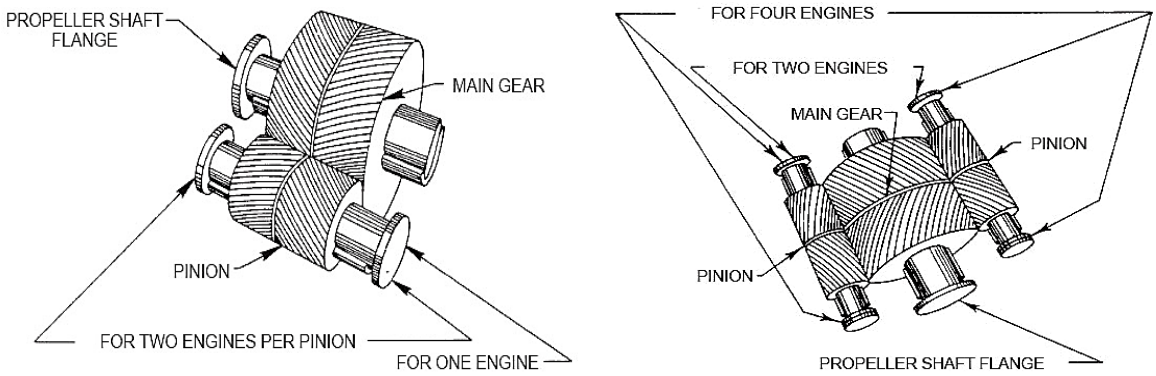
เครื่องจักรใหญ่ที่ส่งจากหมู่เฟืองทดที่ 1 ไปยังหมู่เฟืองทดที่ 2 (Main Gear) ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ทำให้แรงที่กระทำกับหมู่เฟืองทดที่ 2 ไม่รุนแรงจนเฟืองหลุดจากกัน

9. โครงสร้างต้นแบบของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (Typical Arrangement Of Propulsion Main Reduction Gear Units)

โครงสร้างของหมู่เฟืองทดรอบนั้นมีการประกอบกันหลายรูปแบบซึ่งจะออกแบบตามความเหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานโดยมีโครงสร้างที่เป็นต้นแบบหลัก ๆ อยู่ 3 แบบ ดังนี้

9.1. Single Reduction Gear (หมู่เฟืองทดรอบครั้งเดียว)

ประกอบด้วยเฟืองขับและเฟืองทด (Pinion and Gear) อย่างละ1ตัว การส่งกำลังจากเครื่องขับไปยังหมู่เฟืองทดด้วยคัปปลิ้ง (Coupling) หรือ คลัทช์ (Clutch) หรือ ทั้งคัปปลิ้งและคลัทช์ (ในภาพไม่ได้แสดงไว้) เป็นหมู่เฟืองที่สามารถใช้งานกับเครื่องขับตั้งแต่ 1-2 เครื่อง ใช้งานกับเครื่องขับเครื่องขับตั้งแต่ 1 - 2 เครื่อง) ซึ่งหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรแบบทดรอบครั้งเดียวนี้ใช้งานกับเครื่องจักใหญ่รอบต่ำ (1000 รอบ /นาที และต่ำกว่า)



Single Reduction Gear (หมู่เฟืองทดรอบครั้งเดียว)

9.2. Lock-Train Double-Reduction Gear Type (หมู่เฟืองทดรอบ 2 ครั้ง แบบ Lock-Train)

เป็นหมู่เฟืองทดรอบที่รับกำลังขับจากเครื่องจักรใหญ่ได้ 2 เครื่อง (ใน 1 ชุดของหมู่เฟืองขับด้วยเครื่องจักรใหญ่ 1 เครื่อง) มีส่วนประกอบและโครงสร้าง ดังนี้

- First Reduction Pinion หรือ High Speed Pinion (เฟืองขับ 1)

เป็นเฟืองแบบฟันเฉียงคู่ (Double Helical Gear Type) ทำหน้าที่รับกำลังขับจากเครื่องจักรใหญ่ (ผ่านคัปปลิ้ง (Coupling) หรือ คลัทช์ (Clutch) หรือ ทั้งคัปปลิ้งและคลัทช์ (ในภาพไม่ได้แสดงไว้) และส่งกำลังไปหมุนขับ First Reduction Gear จำนวน 2 ตัว

- First Reduction Gear หรือ High Speed Gear (เฟืองทด 1 /จำนวน 2 ตัว)

เป็นเฟืองแบบฟันเฉียงคู่ ทำหน้าที่ลดรอบความเร็วครั้งที่ 1 และแบ่งกำลังขับ /ส่งผ่าน Flexible Quill Shaft (ของแต่ละตัว) ไปหมุนขับ Second Reduction Pinion

- Second Reduction Pinion หรือ Low Speed Pinion (เฟืองขับ 2 /จำนวน 2 ตัว)

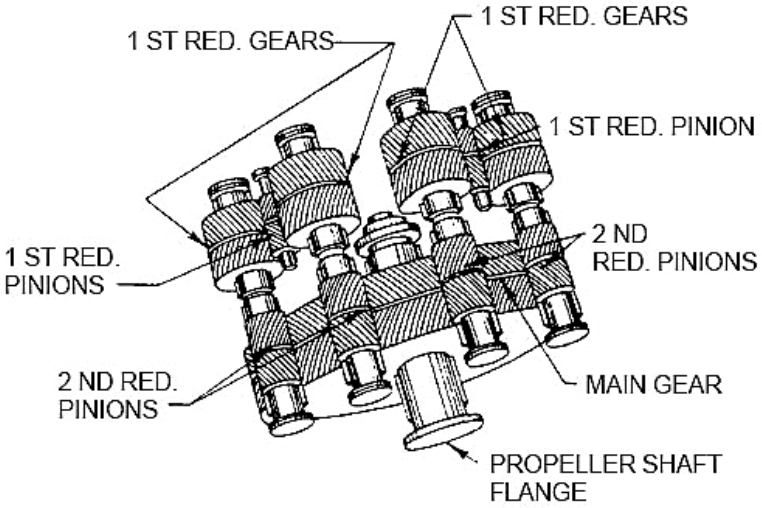
เป็นเฟืองแบบฟันเฉียงคู่ ทำหน้าที่รวมกำลังขับ (ที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยหมู่เฟืองทดรอบครั้งที่ 1) ส่งให้กับ Second Reduction Gear

- Second Reduction Gear / Low Speed Gear (เฟืองทด 2)

เป็นเฟืองขนาดใหญ่แบบฟันเฉียงคู่ ทำหน้าที่ลดรอบความเร็วครั้งที่ 2 และส่งกำลังไปขับเพลาใบจักร

- Flexible Quill Shaft

เป็นเพลาที่เชื่อมต่อและรับส่งแรงบิดระหว่าง First Reduction Gear และ Second Reduction Pinion คุณลักษณะสำคัญของเพลาประเภทนี้คือ ให้การยืดหยุ่นต่อแรงบิดสูง ส่งแรงได้อย่างราบเรียบซี่เฟืองต่อที่คัปปลิ้ง (Coupling) ปลาย Flexible Quill Shaft ทั้ง 2 ด้านได้ทำเครื่องหมาย (Match Mark) แสดงไว้ การประกอบคัปปลิ้ง ต้องให้เครื่องหมายตรงกัน



หมู่เฟืองทดรอบ 2 ครั้ง แบบ Lock-Train

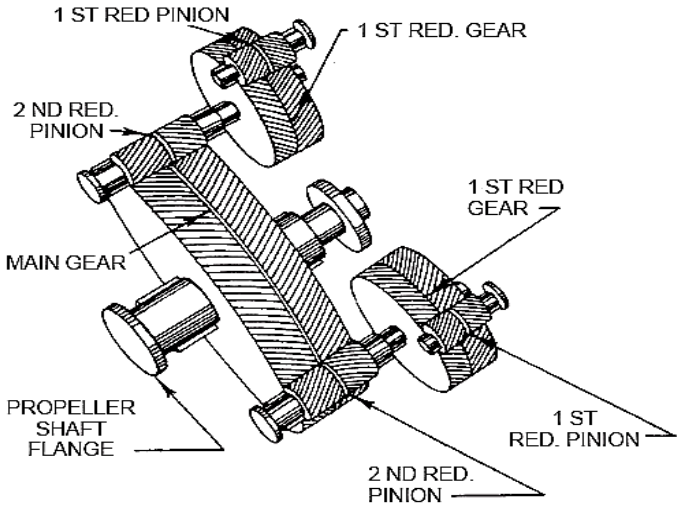
9.3. Tandem Articulated Double Reduction Gear Type (หมู่เฟืองทดรอบ 2 ครั้ง แบบ Tandem Articulated)

มีส่วนประกอบและโครงสร้าง ดังนี้

9.3.1. Tandem Articulated

หมายถึง การเชื่อมต่อระหว่างหมู่เฟืองทดครั้งที่ 1 และเฟืองทดครั้งที่ 2 (หรือ First Reduction Gear และ Second Reduction Pinion) ด้วย Flexible Quill Shaft จำนวน 1 เพลา ซึ่งมีผลทำให้ Flexible Quill Shaft ของหมู่เฟืองทดรอบประเภทนี้รับแรงดันได้เพียง ½ ของหมู่เฟืองประเภท Lock – Train

หมู่เฟืองประเภทนี้ใช้งานกับเรือช่วยรบของ ทร.อม. (ส่วนประกอบอื่นๆ และ Flexible Quill Shaft เหมือนกับหมู่เฟืองประเภท Lock-Train แต่ไม่มีเครื่องหมาย / Match Mark ที่เฟืองคัปปลิ้ง หัว-ท้าย ของ Flexible Quill Shaft)



หมู่เฟืองทดรอบ 2 ครั้ง แบบ Tandem Articulated

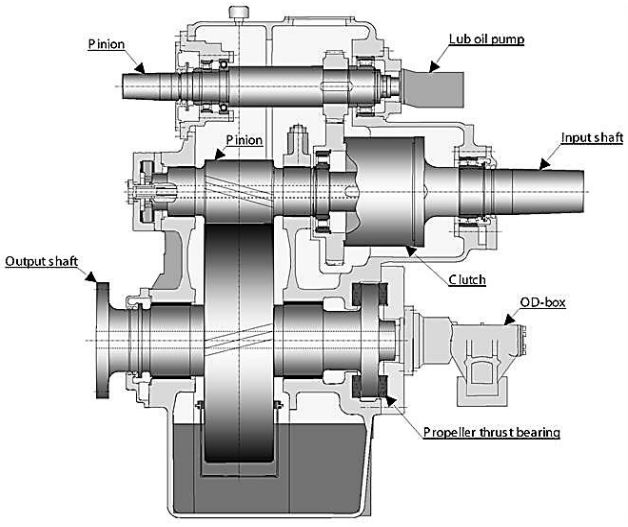
10. ส่วนประกอบของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร

ในขณะใช้งาน เฟืองขับและเฟืองทดรอบของหมู่เฟืองต้องทำหน้าที่อย่างหนัก ด้วยการหมุนรอบสูงและความสามารถในการส่งถ่ายพลังงานมากมายมหาศาล ดังนั้นความไม่ราบเรียบหรือสภาวะขาดสมดุลของการสัมผัส (ขบ) ของซี่เฟืองอาจเกิดขึ้นและเป็นสาเหตุทำให้เกิดเสียงดังจากภายในหมู่เฟืองได้ เป็นหน้าที่ที่จะต้องตรวจสอบด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ ถึงแม้ว่าเฟืองทุกตัวที่นำมาติดตั้งใช้งานจะถูกออกแบบมาให้มีความทนทานต่อสภาพงานหนัก ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอย่างดี ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้องผลิต ควบคุมการยืดและหดตัวของเฟืองให้อยู่ในเกณฑ์ขณะที่อยู่ในเครื่องผลิตและทำการทดลองกำจัดสนิมที่เกิดจากความชื้นในอากาศแล้ว สามารถกำจัดออกไปได้เกือบทั้งหมดโดยง่าย รวมทั้งเฟืองทุกตัวได้ผ่านการตรวจสอบว่าแข็งแรงทนต่อสภาพการใช้งานหนักได้จริงและตรวจหาสิ่งผิดปกติอื่นๆ จากโรงงานผู้ผลิตมาแล้วทั้งสิ้น

ส่วนประกอบของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นความรู้ทั่วไป ทั้งของเฟืองทดประเภททดครั้งเดียวและทดสองครั้ง โดยให้รู้ถึงลักษณะโครงสร้าง หน้าที่ และสถานที่ติดตั้ง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อเพิ่มเติมจากคู่มือเรือหรือคู่มือของบริษัทผู้ผลิต รายละเอียดที่เป็นข้อมูลทางเทคนิค ให้ดูจากคู่มือเรือแต่ละประเภทเท่านั้น

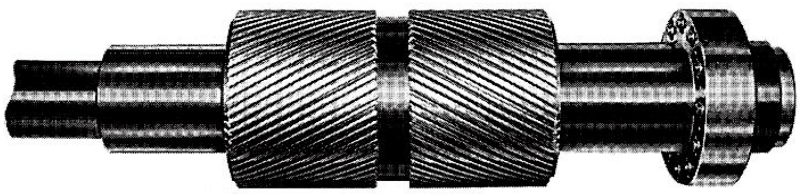
10.1. ตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบ (Casing)

ตัวเรือนของหมู่เฟืองขนาดเล็กมักหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน ถ้าเป็นตัวเรือนของหมู่เฟืองขนาดใหญ่จะเป็นโครงสร้างแยกส่วนคือ ตัวเรือนด้านบน ตัวเรือนด้านล่างและฝาครอบ ภายในสร้างเป็นคานทรงสี่เหลี่ยมและเป็นสถานที่ติดตั้งเรือนแบริ่งรับเพลาของหมู่เฟืองต่างๆ ฝาครอบตัวเรือนด้านบนสามารถถอดประกอบได้เพื่อให้สะดวกในการซ่อมหรือทำความสะอาดหมู่เฟืองและส่วนประกอบอื่นๆ ภายใน ส่วนฝาปิดช่องตรวจที่ฝาครอบตัวเรือนด้านบนมีไว้เพื่อเปิดตรวจสภาพหมู่เฟืองและแบริ่ง ซึ่งเมื่อได้เปิดออกตรวจแล้วต้องปิดล็อคอย่างปลอดภัย นอกจากนี้ ตัวเรือนยังเป็นสถานที่ติดตั้งของส่วนที่เป็นอุปกรณ์ช่วยของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร เช่น ปั๊มน้ำมันหล่อ เฟืองหมุน คลัทช์และอื่นๆ ตามประเภทของเรือ



10.2. เฟืองขับ (Pinion)

โดยทั่วไปถ้าเป็นเฟืองขนาดเล็ก ทั้งเพลาและตัวเฟืองมักเป็นชิ้นเดียวกัน สร้างด้วยเหล็กกล้าตีขึ้นรูป (Solid Steel Forging) การผลิตฟันเฟืองโดยใช้มีกัดเฟือง (Cut FORM) ส่วนการสร้างเฟืองขับขนาดใหญ่จะใช้วิธีเชื่อมประสานต่อกันโดยมีลักษณะคล้ายล้อเฟือง (Gear Wheel) สำหรับเฟืองขับที่ใช้กับเรือกวาดทุ่นระเบิดต้องทำด้วยโลหะผสมที่ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก ถ้าเป็นโลหะประเภทเหล็กจะต้องผ่านการลบล้างอำนาจสนามแม่เหล็กแล้วเท่านั้น



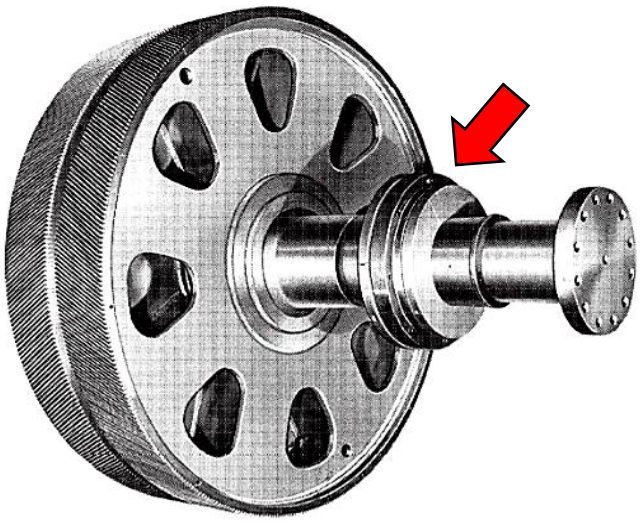
PINION

10.3. เฟืองทดรอบ (Gear)

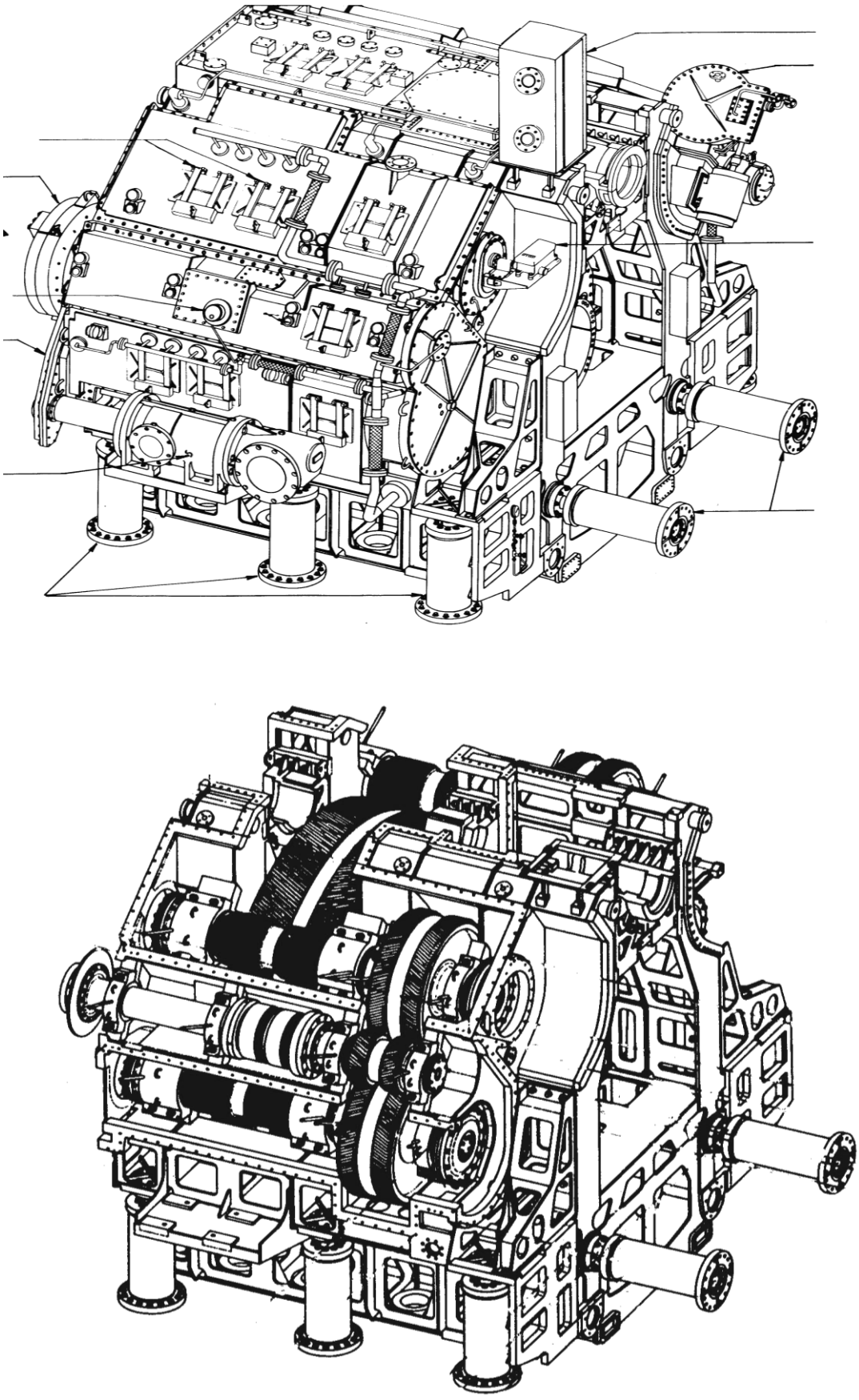
เป็นเฟืองที่มีขนาดใหญ่กว่าเฟืองขับ (เนื่องจากต้องลดรอบความเร็ว สร้างด้วยโลหะตามวัตถุประสงค์ใช้งาน เช่น เฟืองขนาดเล็กอาจสร้างด้วยการตีขึ้นรูปหรือหล่อเป็นเฟืองชิ้นเดียว สำหรับเฟืองขนาดใหญ่สร้างโดยนำชิ้นส่วนมาประกอบกัน เรียกว่า Gear Wheel ซึ่งเฟืองขนาดใหญ่ (Gear Wheel) มีโครงสร้างสำคัญได้แก่ ขอบบนด้านข้าง (Rim) แผ่นยึดกงล้อ (Web) ดุมกลาง (Hub) และเพลา (Shaft)

10.4.บ่ารับแบริ่งกัน (Thrust Collar)

เป็นส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่บนเพลาของเฟืองทดรอบ (Bull Gear หรือ Main Gear) ที่ต่อกับเพลาใบจักร ทำหน้าที่ส่งแรงดันตามแนวแกนเพลาใบจักร (ผ่านแบริ่งกันรุน) ไปสู่โครงสร้างตัวเรือ



Bull Gear และ Thrust Collar



Main Reduction Gear Unit Assembled with Top Covers Removed

10.5. Flexible Quill Shaft หรือชุดเพลากลาง (Inter Mediate Speed Rotor Assembly)

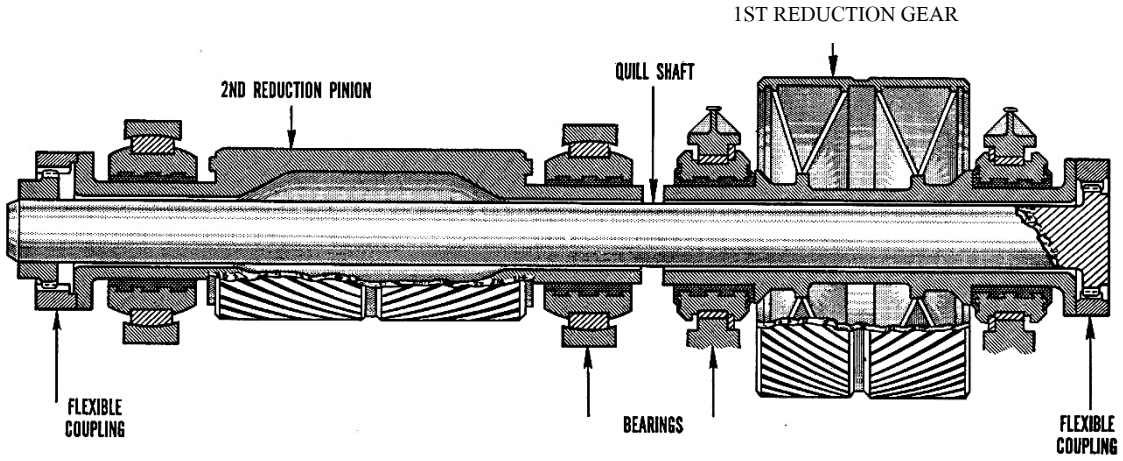
มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่

- First Reduction Gear (เฟืองทดรอบ ครั้งที่ 1) สร้างโดยนำชิ้นส่วนประกอบกันเป็นเฟืองเพลากลวง และที่ปลายเพลาด้านหนึ่งเป็นชุดข้อต่อชนิดฟันเฟืองใน

- Second Reduction Pinion (เฟืองขับ ครั้งที่ 2) สร้างโดยตีขึ้นรูปเป็นเฟืองเพลากลวง และที่ปลายเพลาด้านหนึ่งเป็นชุดข้อต่อชนิดฟันเฟืองใน

- Quill Shaft เป็นเพลาที่สอด / เชื่อมต่อเฟืองอยู่ภายในเพลากลวงของ First Reduction Gear และ Second Reduction Pinion ที่ปลายเพลาทั้งสองด้านเป็นชุดข้อต่อชนิดฟันเฟืองนอก

- ชุดข้อต่อชนิดอ่อนตัวได้ (Flexible Coupling) แบบฟันเฟือง (ติดตั้งอยู่ที่ปลายเพลา Quill Shaft / เพลาของ First Reduction Gear และเพลาของ Second Reduction Pinion) ทำหน้าที่เชื่อมต่อและส่งกำลังจาก First Reduction Gear (ผ่าน Quill Shaft) ไปยัง Second Reduction Pinion (ทำให้การส่งกำลังราบเรียบ ไม่กระตุกกระชาก)



Flexible Quill Shaft หรือ Inter Mediate Speed Rotor Assembly

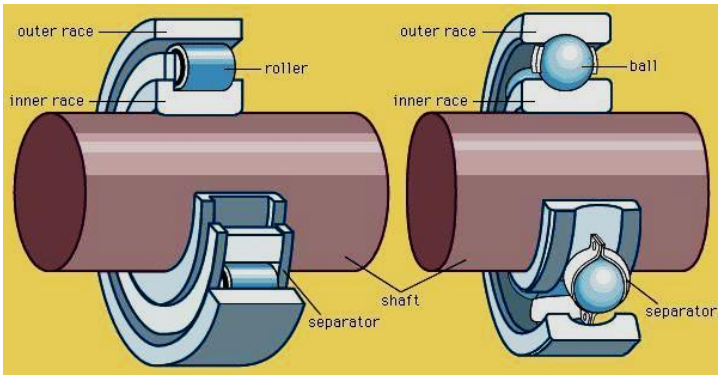
10.6.แบริ่ง (BEARING)

วัตถุประสงค์การใช้งาน กล่าวคือรับน้ำหนักส่วนหมุน ยึดเพลาเพื่อให้เฟืองหมุนทำงานด้วยความเที่ยงตรงทั้งในแนวรัศมีและแนวแกน ป้องกันเพลาของหมู่เฟืองสึกหรอ (ให้เกิดการสึกหรอที่แบริ่งเท่านั้น)

10.6.1. ประเภทของแบริ่งที่ใช้ ได้แก่

10.6.1.1. แบริ่งตลับลูกปืน (Roller Bearing)

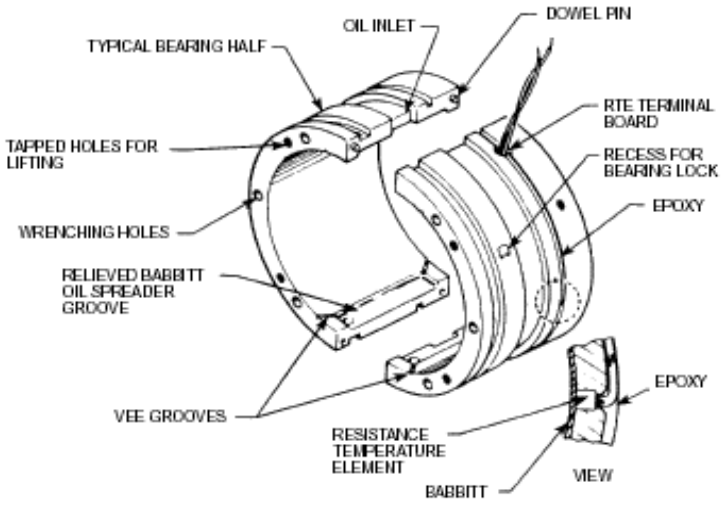
ใช้งานกับหมู่เฟืองลดรอบเพลาใบจักรขนาดเล็ก ทำหน้าที่รับน้ำหนักเพลาและรับแรงดันที่เกิดขึ้นกับเพลาทั้งในแนวรัศมีและแนวแกน



10.6.1.2. แบริ่งแบบปลอกหรือแบริ่งผิวสัมผัส (Sleeve or Sliding Surface Type หรือ Plant bearing)

Ball and Roller Bearing

ใช้งานกับหมู่เฟืองทดขนาดใหญ่ มีลักษณะรูปร่างแบบทรงกระบอกหรือแบบฝาปะกับ มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ เปลือกแบริ่ง (Shell) ทำด้วยเหล็ก ผิวสัมผัสทำด้วย Babbitt มีเครื่องหมายสำหรับวัดการเยื้องศูนย์ไว้ที่เปลือกแบริ่ง และมีเดือยขัด (Dowels) ทำหน้าที่ล็อคแบริ่ง ให้อยู่ในร่องหรือภายในตัวเรือนแบริ่งขณะที่ใช้งาน รวมทั้งมีเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ (RTE) สำหรับตรวจสภาพการทำงานของแบริ่งติดตั้งรวมอยู่ด้วย



Sliding Surface Bearing

10.7. Sound Isolation Mounting System (อุปกรณ์แยกเสียงและความสั่นสะเทือน)

ติดตั้งอยู่ที่ฐานของตัวเรือนหมู่เฟืองลดรอบ

ทำหน้าที่ป้องกันเสียงและความสั่นสะเทือนที่เกิดจากหมู่เฟืองทดรอบถ่ายทอดไปสู่โครงสร้างตัวเรือ เป็นอุปกรณ์ประเภทยาง (Rubber) หรืออาจเป็นโลหะ (ตรวจสอบจากคู่มือเรือ)

10.8.เฟืองหมุนหมู่เฟืองทดรอบและอุปกรณ์ล็อคเพลาใบจักร (Turning Gear and Shaft Locking Devices)

การหมุนหมู่เฟืองทดรอบเพื่อตรวจสภาพ/การซ่อมบำรุง/ซ่อมทำ/ทดลองประจำสัปดาห์ หรือเมื่อมีเหตุฉุกเฉิน

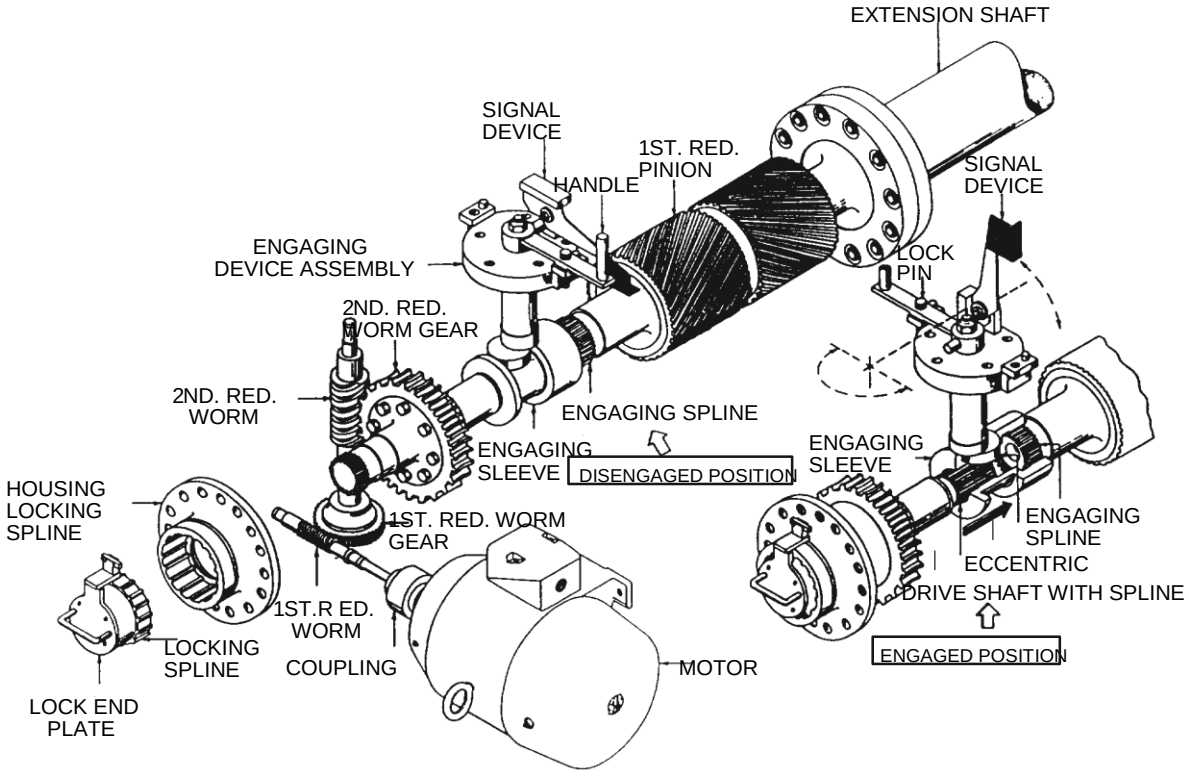
วัตถุประสงค์ในการล็อคเพลาใบจักรเพื่อป้องกันไม่ให้เพลาใบจักรหมุนในบางสถานการณ์ ซึ่งมีโครงสร้างและส่วนประกอบสำคัญ เช่น ชุดมอเตอร์ เฟืองหนอนและอุปกรณ์ล็อคเพลาแบบเฟืองหรือแบบก้ามปู (Clamp Type) และระบบหล่อลื่นสำหรับเฟืองหมุน (รายละเอียดโครงสร้างอาจแตกต่างกันตามขนาดของหมู่เฟืองให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ)

10.9.เครื่องวัดรอบเพลาใบจักร (Shaft Revolution Counter หรือ Tachometer Drive)

โดยทั่วไปเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งและขับด้วยเพลาของเฟืองทดรอบเพลาใบจักร สำหรับเรือที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องกังหันก๊าซ อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรอบแบบไฟฟ้า (Electronic rpm Sensor)

ติดตั้งไว้ที่หมู่เฟืองเกียร์

ทำหน้าที่ตรวจจับละส่งสัญญาณไปแสดงค่าที่ห้องควบคุม



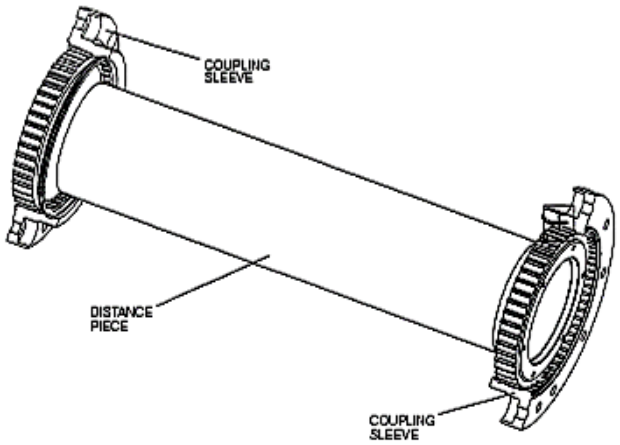
Electric Motor Driven Turning Gear with Positive Locking Device

10.10. Flexible Couplings (ข้อต่อชนิดอ่อนตัวได้)

ทำหน้าที่เชื่อมต่อและส่งกำลังระหว่างเพลาของเครื่องจักรใหญ่และเพลาของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร เป็นข้อต่อที่มีการออกแบบให้ใช้งานได้ในขณะเกิดอาการเยื้องศูนย์ทั้งในแนวแกนและแนวรัศมี มีการสร้างใช้งาน 3 ประเภท ดังนี้

10.10.1. คับปลิ้งเฟือง (Dental / Gear / Tooth Type Coupling)

ส่วนประกอบสำคัญได้แก่ เฟืองดุมข้อต่อ (Hub) และ เพลาต่อ (Distance Piece) การหล่อลื่นโดยใช้นมล.หรือจาระบี การปรับศูนย์เองได้ของคับปลิ้งเฟืองนี้กระทำโดยการเลื่อนเข้า-ออก (Sliding) และโครงตัว (Rocking)

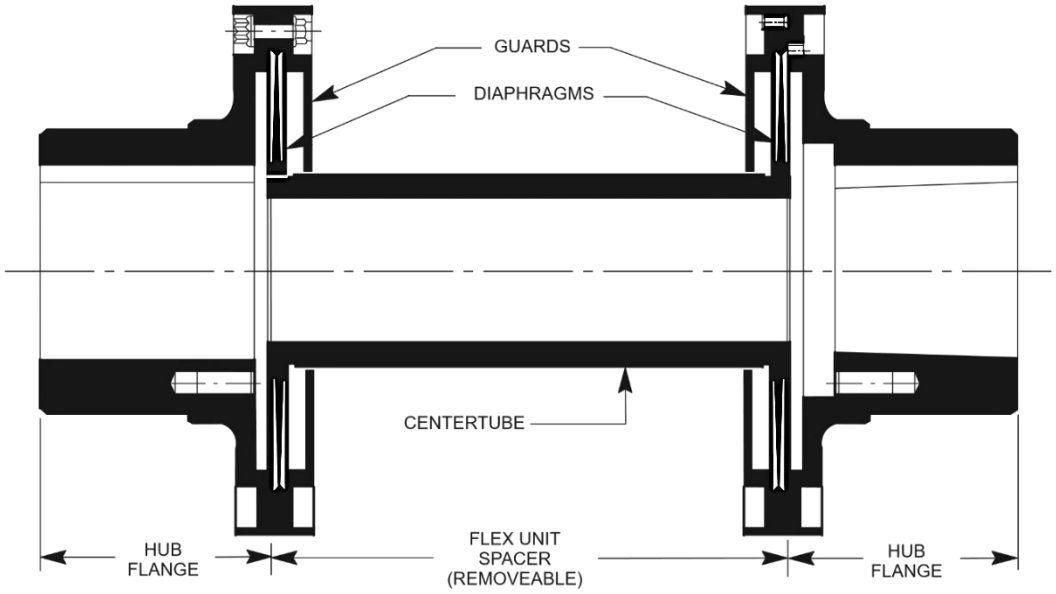


ของเฟืองข้อต่อที่ขบกันอยู่ภายในดุมข้อต่อ

Dental /Gear /Tooth Type coupling

10.10.2. คับปลิ้งไดอะแฟรม (Single diaphragm / Multiple Diaphragm)

มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ ดุมข้อต่อ (Hub) ไดอะแฟรม (Single Diaphragm / Multiple Diaphragm) และเพลาต่อ คับปลิ้งไดอะแฟรมไม่ต้องการสารหล่อลื่นการปรับศูนย์กระทำได้โดยการสปริงตัว (Deflection) ของไดอะแฟรม ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่เป็นโลหะหรือโพลิเมอร์ (โพลิเมอร / Elestomer เป็นสารสังเคราะห์มีลักษณะยืดหยุ่นเหมือนยางธรรมชาติ)

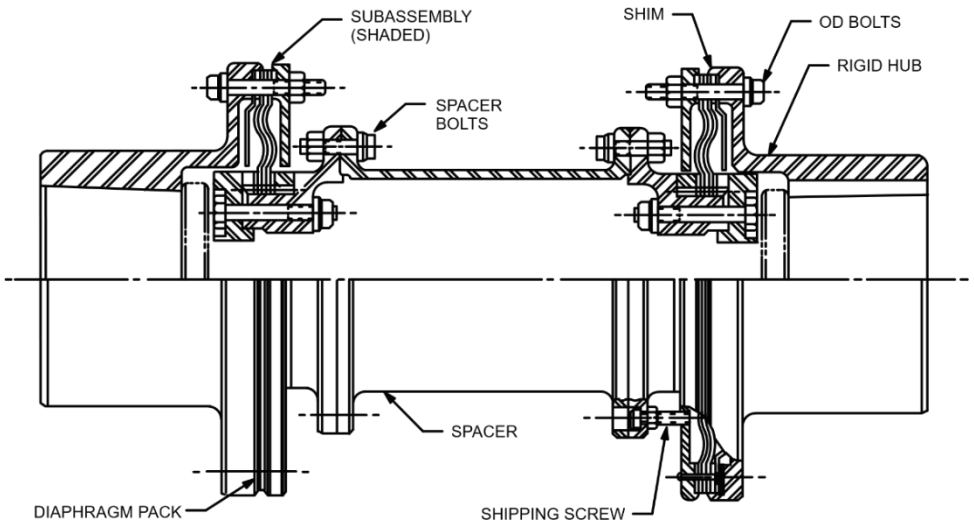


Single Diaphragm Coupling

10.10.3. SI Coupling

เป็นข้อต่อสำหรับส่งกำลังจากเพลาของเฟืองทดรอบ (Bull Gear หรือ Main Gear) ไปสู่เพลาใบจักร (Line Shaft) เป็นข้อต่อที่ประกอบด้วย Elastomer Element (โพลิเมอร์)

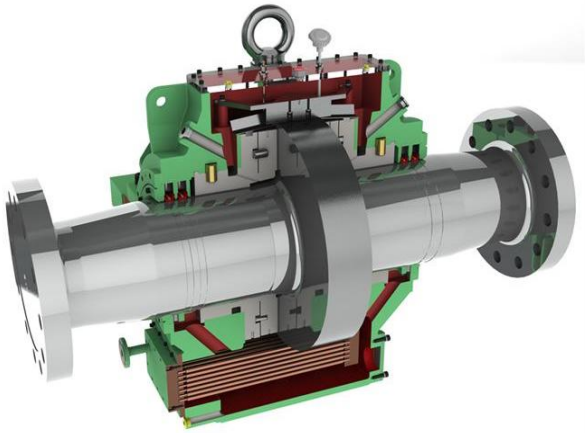
วัตถุประสงค์การใช้งาน เพื่อต้องการลดเสียงที่เกิดจากการสัมผัสกันของโครงสร้างโลหะที่หน้าแปลนต่อระหว่างเพลาของหมู่เฟืองทดรอบและเพลาใบจักร

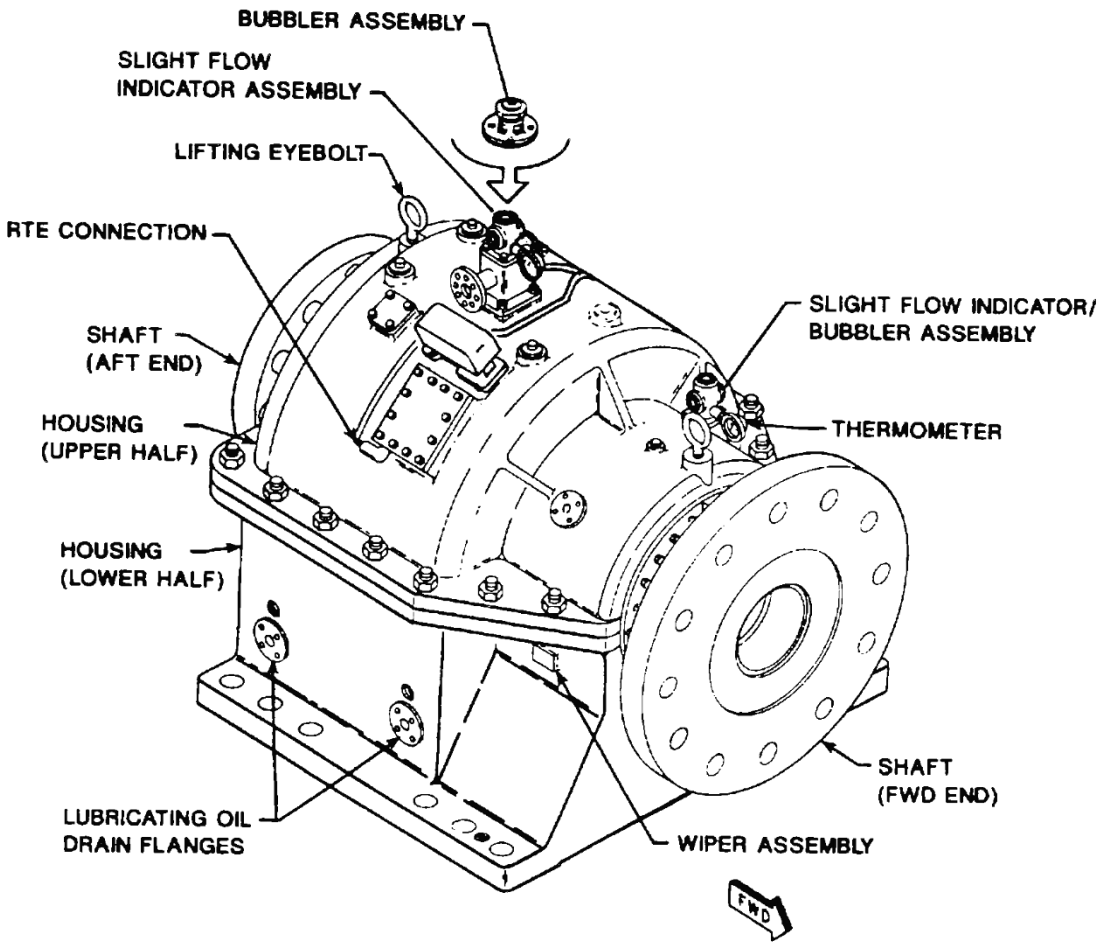


Multiple Diaphragm Coupling

10.11. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Thrust Bearing หรือ Thrust Box)

ติดตั้งอยู่ที่เรือนแบริ่งภายในตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบ (เรือบางประเภทแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรอาจติดตั้งแยกจากตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร) ทำหน้าที่รับแรงดันตามแนวแกนของเพลาใบจักร (จากเพลากันรุน)และส่งแรงให้กับโครงสร้างตัวเรือ (เป็นแรงผลักของใบจักรที่ทำให้เรือเคลื่อนที่) ในเรือขนาดใหญ่ใช้ แบริ่งกันรุนแบบ Pivote Shoe Self Equalizing type ทำงานด้วยกำลังดันน้ำมันหล่อลื่น ส่วนเรือหรือหมู่เฟืองทดรอบขนาดเล็กใช้แบริ่งชนิดตลับลูกปืนชนิดปรับศูนย์เองได้ (Spherical Taper Roller Anti-friction Bearing)





แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Thrust Bearing หรือ Thrust Box)

10.12. คลัทช์และเฟืองหมุนกลับทาง (Clutch and Reverse Gear)

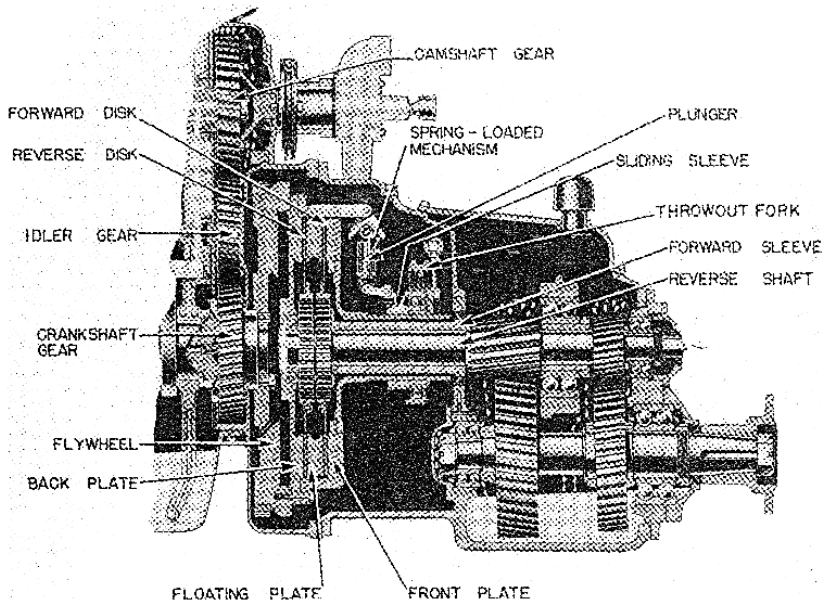
10.12.1. คลัทช์ (Clutch)

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เชื่อมต่อและปลดการเชื่อมต่อระหว่างเพลาของเครื่องจักรใหญ่และเพลาของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร ในอดีตใช้งานกับระบบขับเคลื่อนเรือประเภทต่อตรง (ไม่ใช้เฟืองทดรอบ) ทำหน้าที่ปลดการเชื่อมต่อระหว่างเพลาของเครื่องขับและเพลาใบจักร ในระบบขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดีเซล คลัทช์ถูกนำมาใช้งานร่วมกับเฟืองหมุนกลับทางเพื่อการขับเคลื่อนเรือโดยเฉพาะ (ให้เรือเดินหน้าหรือถอยหลัง) แต่สำหรับเรือขนาดใหญ่บางประเภท คลัทช์ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นข้อต่อพิเศษ (Special Coupling) และมีคุณลักษณะเป็นอุปกรณ์ควบคุม (Control) รวมทั้งออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะเกิดการบิดตัวของเพลาส่งกำลังอีกด้วย

10.12.2. เฟืองหมุนกลับทาง (Reverse Gear)

ถูกนำมาติดตั้งใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เพลาใบจักรหมุนกลับทางได้ในขณะที่เครื่องขับยังหมุนทางเดิม มีข้อจำกัดด้วยวิธีการใช้งานกล่าวคือ ในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่มีกำลังขับสูง การส่งกำลังผ่านเฟืองกลับทางให้ทำได้เฉพาะเมื่อเครื่องยนต์เดินรอบต่ำเท่านั้น ห้ามใช้งาน (ถอยหลัง) ด้วยความเร็วสูงสุด แต่ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กสามารถใช้งานได้ไม่มีข้อจำกัด

ระบบขับเคลื่อนเรือที่ทำหน้าที่เป็นส่วนส่งกำลังขับได้แก่ หมู่เฟืองทดรอบ คลัทช์และเฟืองหมุนกลับทาง มักมีโครงสร้างส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของเรือ ตัวอย่างเช่น เรือขนาดเล็กอุปกรณ์ส่งกำลังขับดังกล่าวอาจประกอบรวมอยู่ภายในตัวเรือนเดียวกัน หรือ ในเรือขนาดใหญ่ คลัทช์และเฟืองหมุนกลับทางอาจสร้างรวมกันอยู่ในตัวเรือนหนึ่ง ส่วนหมู่เฟืองทดรอบสร้างแยกไว้อีกตัวเรือนหนึ่ง แต่ทั้งสองตัวเรือนประกอบติดเป็นโครงสร้างเดียวกัน เป็นต้น



Clutch and Reverse Gear

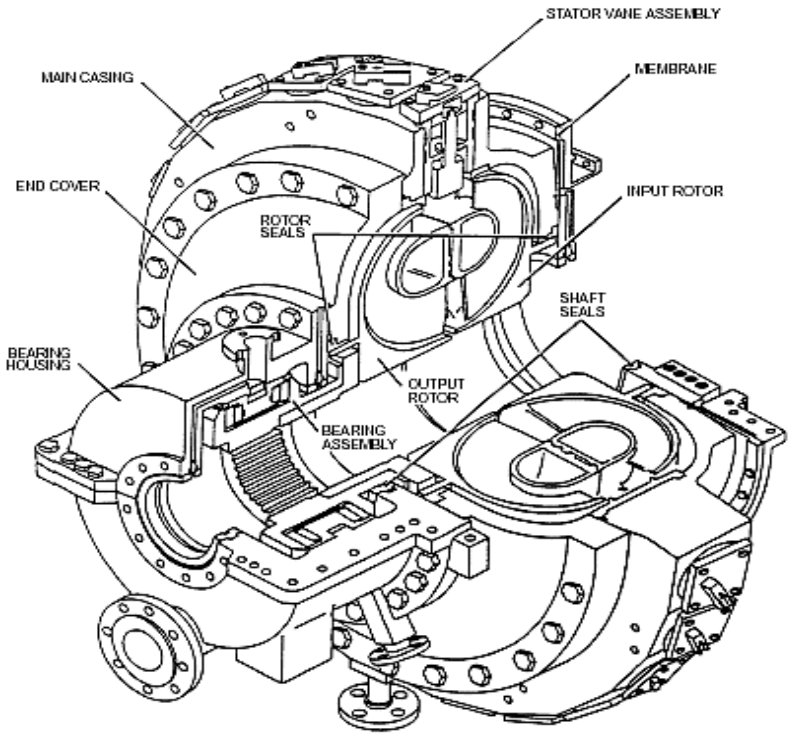
จากภาพด้านบน แสดงตัวอย่างการติดตั้งของหมู่เฟืองทดรอบ คลัทช์และเฟืองหมุนกลับทางอยู่ในตัวเรือนเดียวกัน ชุดคลัทช์ (Forward Disk / Reverse Disk) เป็นส่วนประกอบที่อยู่ติดกับตัวเครื่องยนต์ (ดูภาพประกอบ) เป็นคลัทช์ความฝืดแบบแห้งชนิดจานคู่ ซึ่งจานคลัทช์แต่ละชุดเชื่อมต่อกับชุดเฟืองทดรอบด้วยเพลาอยู่บริเวณส่วนท้ายของตัวเรือนเฟืองเกียร์ โดยจานคลัทช์และหมู่เฟืองทดรอบหนึ่งชุด ทำหน้าที่ให้เพลาใบจักรหมุนไปในทิศทางเรือเดินหน้า ส่วนจานคลัทช์และหมู่เฟืองอีกหนึ่งชุด ทำหน้าที่ให้เพลาใบจักรหมุนกลับทางให้เรือไปในทิศทางถอยหลัง ซึ่งรายละเอียดของโครงสร้าง / ส่วนประกอบศึกษาจากคู่มือเรือ

10.13. คลัทช์ไฮดรอลิค (Hydraulic Clutch) หรือที่เรียกว่า Hydraulic Coupling

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลว (น้ำมัน) เป็นตัวกลางเชื่อมต่อและส่งกำลัง (แรงบิด) ระหว่างเพลาของเครื่องจักรใหญ่และเพลาของเฟืองทดรอบ เป็นคลัทช์ที่มีคุณสมบัติในการส่งกำลังได้อย่างนิ่มนวล ป้องกันอันตรายที่เกิดจากแรงบิดที่กระตุกกระชากย้อนกลับจากหมู่เฟืองทดรอบกลับไปยังเครื่องจักรใหญ่ได้ มีโครงสร้างประกอบด้วย กังหันขับ (Primary Inpeller หรือ Input Rotor) และกังหันตาม (Secondary Runner หรือ Turbine หรือ Out Put Rotor) โดยมีน้ำมันไฮดรอลิก ทำหน้าที่ส่งกำลัง ปัจจุบันนำมาใช้งานเรืออย่างกว้างขวาง (เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่) เป็นคลัทช์ประเภทที่มีอาการคลัทช์ลื่นขณะใช้งานเกิดขึ้นน้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับคลัทช์ประเภทกลไก คลัทช์ไฮดรอลิกมีข้อได้เปรียบสำคัญ คือ ไม่มีกลไกการส่งกำลังระหว่างเครื่องขับและอุปกรณ์ส่งกำลังขับที่สัมผัสกันโดยตรง ทำให้การส่งพลังงานผ่านคลัทช์ไฮดรอลิกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (97%) ปราศจากอาการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงบิดและสามารถป้องกันอาการกระตุกกระชาก (Load Shocks) จากตัวเครื่องขับไปสู่หมู่เฟืองทดรอบได้อีกเช่นกัน (อาการ Load Shocks ที่เกิดกับเครื่องจักรใหญ่และถ่ายทอดไปสู่หมู่เฟืองทดรอบมักมีสาเหตุจากความผิดปกติที่ตัวเครื่อง เช่น สูบติด) กำลังขับจากเครื่องถูกถ่ายทอดภายในคลัทช์ไฮดรอลิกได้โดยการหมุนเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกที่ถูกผลักดันผ่านช่องทางในแนวรัศมี (Radial Passages) อยู่ภายในระหว่างโรเตอร์ (ดูภาพประกอบ) นอกจากนั้นโครงสร้างของคลัทช์ไฮดรอลิกยังยอมให้เกิดการเยื้องศูนย์ระหว่างเพลาทั้งสองได้เล็กน้อยขณะใช้งาน

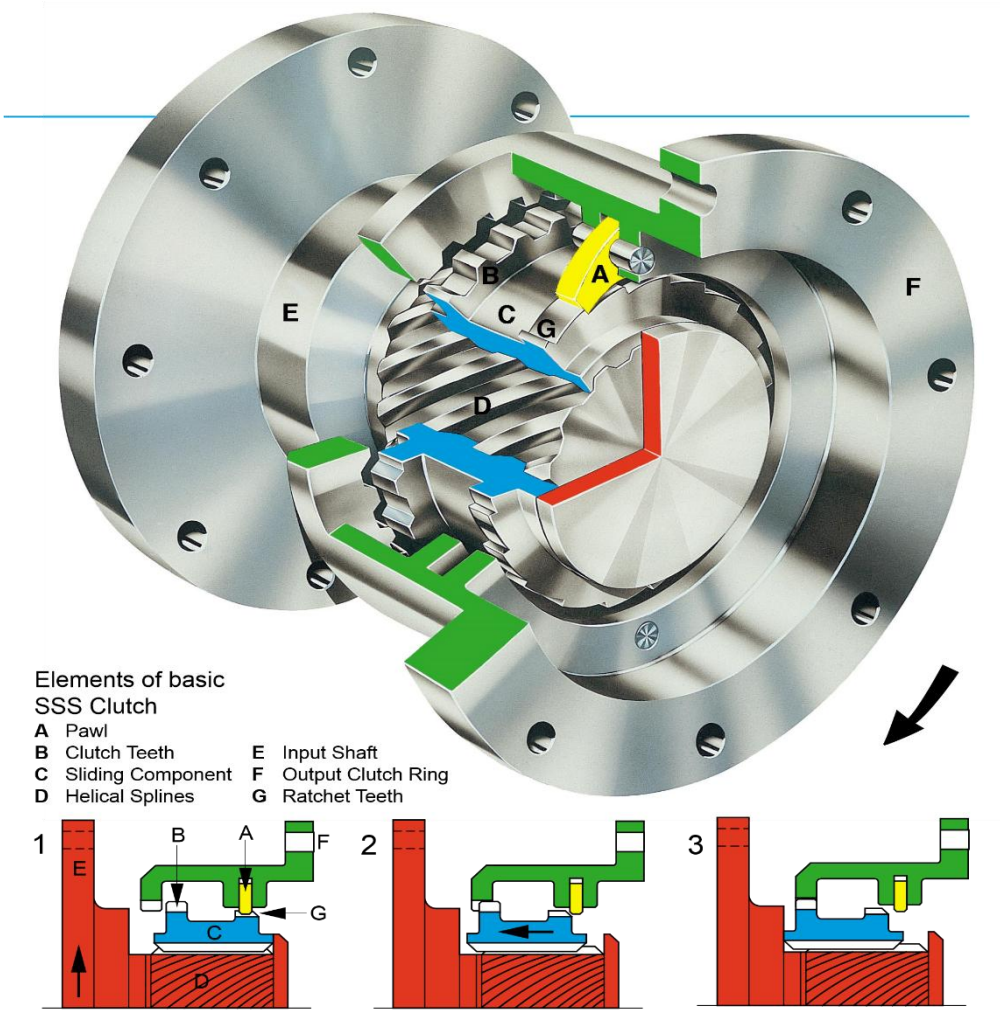
อาการคลัทช์ลื่นที่เกิดขึ้นกับคลัทช์ไฮดรอลิกเป็นสิ่งที่เลี่ยงไม่ได้ เกิดจากการบิดตัวของเพลาขณะส่งกำลังขับและเกิดจากหลักการเคลื่อนที่ของของเหลวระหว่างโรเตอร์ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากอาการคลัทช์ลื่นดังกล่าวจะส่งผลทำให้น้ำมันไฮดรอลิกมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกพาออกไปด้วยน้ำมันในระบบได้เอง



Hydraulic Clutch

10.14. Synchro – Self - Shifting Clutches (SSS Clutch)

SSS คลัทช์ เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ถูกนำมาติดตั้งใช้งานในเรือประเภทขับเคลื่อนด้วยแก๊สเทอร์ไบน์ ทำหน้าที่เชื่อมต่อ (Engage) และปลดการเชื่อมต่อ (Disengage) ระหว่างเครื่องขับและหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรที่มีการทำงานแบบอัตโนมัติและยังติดตั้งใช้งานในเรือประเภทขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าของ ทร.อม. ที่มีภารกิจสำคัญเฉพาะอีกด้วย หลักการทำงานพื้นฐานของคลัทช์สามารถเปรียบเทียบเพื่อทำความเข้าใจได้จากอาการของนัตที่ถูกทำให้หมุนอยู่บนสลักเกลียว กล่าวคือ ถ้าหมุนสลักโดยที่นัตไม่ได้ถูกยึดให้อยู่กับที่แล้ว จะทำให้นัตหมุนไปพร้อมกับสลักแต่ถ้านัตถูกยึดในณะที่สลักหมุนจะทำให้นัตเกิดการเคลื่อนที่เป็นทางตรงไปตามความยาวของสลัก



ส่วนประกอบและการทำงานของ SSS Clutch

ใน SSS คลัทช์ เพลาส่งกำลังเข้า (Input Shaft) เป็นเพลาที่มีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายเกลียวที่อยู่บนสลัก ส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่บนเกลียวของเพลาส่งกำลังเข้าเป็นกลไกที่สามารถทำให้เกิดการเลื่อนได้ (Sliding Component) ซึ่งเปรียบได้กับนัตบน Sliding Component หรือกลไกเลื่อนได้มีส่วนประกอบสำคัญประกอบไว้ด้านตรงข้ามกันกัน คือ ซี่เฟืองคลัทช์ (External Clutch Teeth) และชุดแกนสปริง (Pawls) เมื่อเพลาส่งกำลังของ SSS Clutch หมุน ทำให้กลไกเลื่อน (Sliding Component) หมุนไปพร้อมกับเพลาและหมุนไปจนกระทั่งปลายของชุดแกนสปริง (Pawls) สัมผัสกับซี่เฟืองบังคับหมุนทางเดียว (Ratchet Tooth) บน Output Clutch Ring ของเพลาส่งกำลังออก ส่งผลทำให้การหมุนของกลไกเลื่อนช้าลงและมีความเร็วเท่ากับความเร็วของ Output Clutch Ring ของเพลาส่งกำลังออก (กรณีที่เรือมีความเร็ว

อยู่แล้วจากการเดินเครื่องดีเซลหรือเทอร์ไบน์) ในขณะที่เพลาส่งกำลังเข้ายังคงหมุนด้วยความเร็วสูงขึ้นต่อไป ชุดกลไกเลื่อนจะเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนไปตามเกลียวของเพลาส่งกำลัง และเคลื่อนไปจนกระทั่งเฟืองบังคับหมุนทางเดียว (Ratchet Toot) ของกลไกเลื่อนสัมผัสกับแกนสปริง (Pawls) บน Output Clutch Ring ที่เพลาส่งกำลังออก ส่งผลทำให้ซี่เฟืองคลัทช์ (Clutch Teeth) บนกลไกเลื่อนและภายในของ Output Clutch Ring ที่เลื่อนเข้าสัมผัส (ขบ) กันด้วยนั้น สัมผัสกันเต็มซี่เฟืองในลักษณะ “Synchro – Self - Shifting”

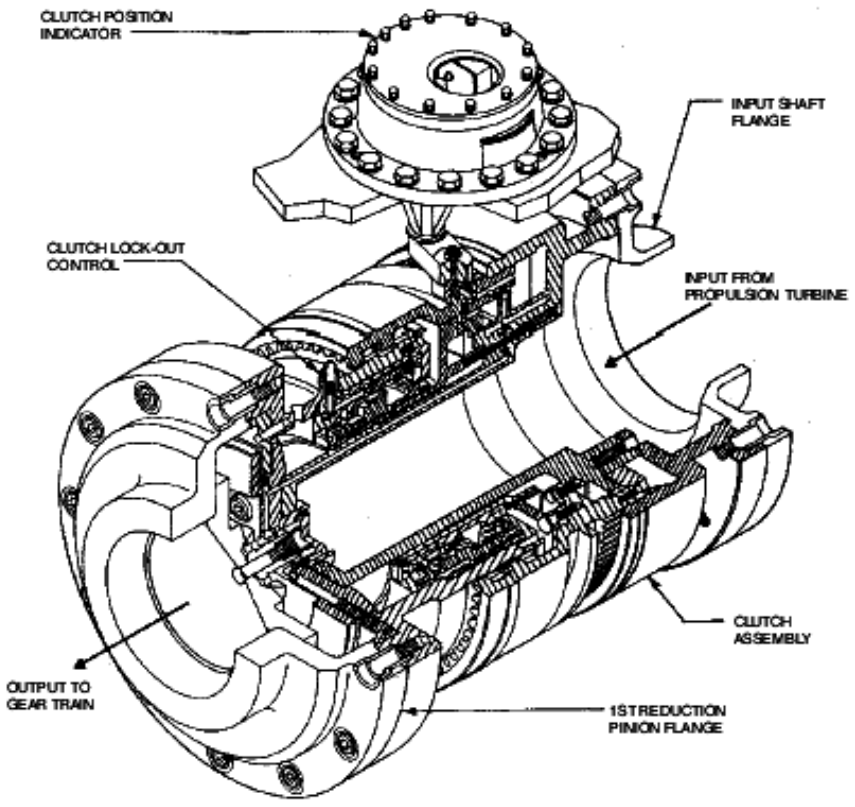
จากการทำงานของ SSS คลัทช์ มีข้อควรจำ ดังนี้

1. ภาระ (Load) หรือ แรงหมุนที่กระทำบนชุดแกนสปริง (Pawl) และซี่เฟืองหมุนทางเดียว (Ratchet Tooth) นั้น เป็นภาระที่ทำให้กลไกเลื่อนหรือ Sliding Component เกิดการเคลื่อนที่บนเกลียวของเพลาส่งกำลังเข้าได้เท่านั้น (ยังไม่ใช่ขั้นตอนส่งแรงบิด)

2. แรงบิด (Driving Torque) จากเพลาส่งกำลังเข้า (ที่ถูกส่งมาจากเครื่องขับ) จะถูกส่งไปยังเพลาส่งกำลังออก (Output Shaft) ก็ต่อเมื่อ กลไกเลื่อนได้เคลื่อนที่ไปจนสุดระยะ (เลื่อนไปจนสัมผัสกับ End Stop บนเพลาส่งกำลังเข้า) ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันที่ซี่เฟืองคลัทช์ (Clutch Teeth) บน Sliding Component และ Output Clutch Ring สัมผัสกันเต็มซี่เฟืองและปลดภาระที่กระทำบนชุดแกนสปริงและเฟืองหมุนทางเดียว (Pawls and Ratchet Tooth) เรียบร้อยแล้ว

3. ถ้าความเร็วในการหมุนของเพลาส่งกำลังเข้าลดลงจนมีความเร็วน้อยกว่าเพลาส่งกำลังออก แรงบิดที่กระทำบนเกลียวของเพลาส่งกำลังเข้าจะมีทิศทางกลับกัน (Reverse) ซึ่งทำให้กลไกเลื่อนเกิดการเคลื่อนที่กลับไปสู่ตำแหน่งปลดการเชื่อมต่อ (ปลดคลัทช์) และระบบขับเคลื่อนจะทำงานด้วย SSS Clutch ของเครื่องขับ (คจญ.) ที่มีรอบสูงกว่า (Overrun Clutch) ต่อไป (ระบบขับเคลื่อน CODOG)

การทำงานของส่วนประกอบอื่นๆ เช่น น้ำมันหล่อที่ถูกส่งเข้าไปภายใน Dashpot และระบบควบคุมการทำงาน (Automatic and Manual Lock-In and Lock-Out) ให้ศึกษาจากคู่มือเรือ

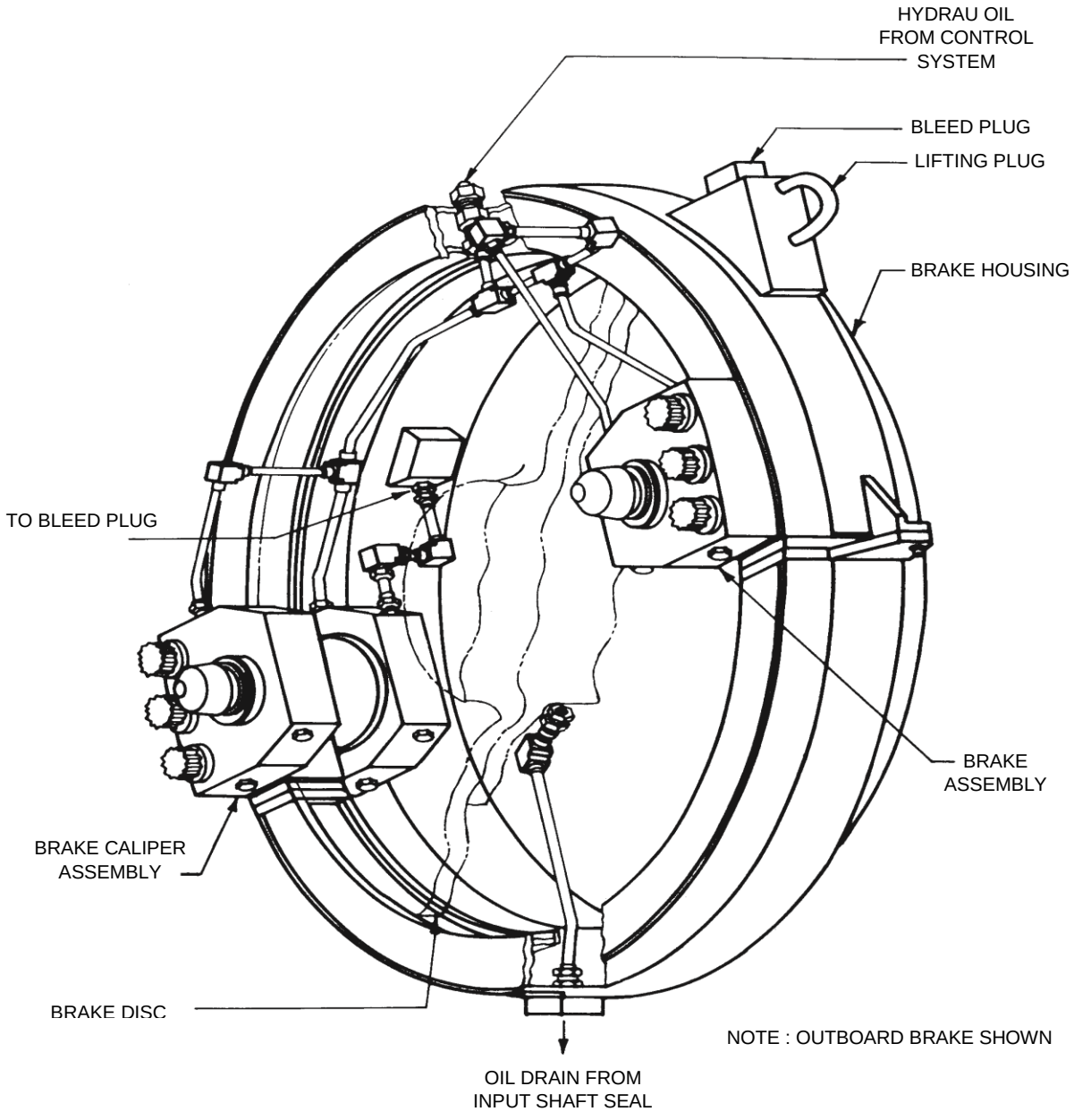


Synchro-Self-Shifting Clutches (SSS Clutch)

11. Gas Turbine Break

โดยทั่วไป การหยุดชุดกังหันขับเพลาใบจักร (Power Turbine) ของเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ จะใช้ระบบเบรกประเภท Hydraulic Actuated , Air – Cooled , Caliper Type Disc Break Type ซึ่งชุด Gas Turbine Break ดังกล่าว ติดตั้งและเข้าทำงานที่ด้านท้ายของเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์ (Turbine End) ที่ส่งกำลังออกสู่ชุด Gear input Shaft หมายเหตุ เฟืองและเพลาขับที่ต่อตรงมาจากเครื่องต้นกำลังขับ (เครื่องจักรใหญ่, มอเตอร์) เรียกส่วนนั้นว่า “Input” และเฟืองตัวสุดท้ายที่ส่งกำลังออกสู่เพลา เรียกว่า “Output”

การใช้งานของระบบ ควรใช้เฉพาะเมื่อเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ทำงานในรอบเดินเบา (Idle) เท่านั้น ซึ่งการทำงานของระบบนับตั้งแต่ความเร็วรอบเดินเบา (Idle) จนถึงทำให้ชุด Power Turbine หยุดการทำงานนั้นใช้เวลาภายใน 25 วินาที



Gas Turbine Break

12. ระบบน้ำมันหล่อหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (Lube Oil System)

12.1. วัตถุประสงค์ของระบบ

1. ระบายความร้อนและหล่อลื่นแบริ่งและหมู่เฟือง

2. ส่งเข้าทำงานในระบบคลัทช์

3. ส่งน้ำมันหล่อลื่นเข้าทำงานภายในเรือนแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Thrust Bearing) หรือ Thrust Box)

4. ส่ง นมล. เข้าทำงานในอุปกรณ์ช่วยอื่นๆ ของเรือบางประเภท เช่น เดินปั๊มน้ำทะเลระบายความร้อน นมล. เกียร์ หรือ เดินปั๊มน้ำมันระบบปรับพิทช์ใบจักร

12.2. ส่วนประกอบของระบบ (System Component)

ส่วนประกอบหลัก และส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานติดตั้งอยู่บนตัวเรือนหมู่เฟือง ได้แก่ (รายละเอียดหรือข้อมูลการปฏิบัติงานให้ศึกษาจากคู่มือเรือในแต่ละประเภทเท่านั้น)

12.2.1. ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (Lube Oil Pump)

ทำหน้าที่ สูบส่งน้ำมันหล่อเข้าไปทำงานในระบบ ส่วนใหญ่เป็นปั๊มชนิด Screw-Type Pump ขับโดยเฟืองภายในหมู่เฟืองทดรอบและขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า

12.2.1.1. ปั๊มน้ำมันหล่อลื่นขับโดยเฟือง (Attach Pump)

- **ปั๊มน้ำมันหล่อลื่นขับโดยเฟืองด้านส่งกำลังเข้า (Input Side)**

ทำหน้าที่ จ่าย นมล. ทันทีเมื่อเดินเครื่องจักรใหญ่ น้ำมันหล่อลื่นที่จ่ายสำหรับหล่อลื่นและระบายความร้อนหมู่เฟืองและแบริ่ง

- **ปั๊มน้ำมันหล่อลื่นขับโดยเฟืองด้านส่งกำลังออก (Out Put Side)**

ทำหน้าที่ จ่าย นมล.ทันทีเมื่อเพลาใบจักรหมุน เพื่อเสริมกำลังดัน นมล.ในระบบที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้น เช่น ระบบคลัทช์

12.2.1.2 ปั๊มน้ำมันหล่อลื่นขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า

- อาจมีมากกว่า 1 ตัว (ขึ้นอยู่กับระบบ)

ทำหน้าที่ จ่าย นมล. เข้าระบบก่อนเริ่มเดินเครื่องจักรใหญ่ (หมู่เฟืองเริ่มหมุน) และใช้เป็น Stand-By Pump เมื่อกำลังดัน นมล. ในระบบตกต่ำถึงเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ ปั๊มจะทำงานจ่าย นมล. เข้าระบบทันที การใช้งานได้ทั้ง Manual หรือ Automatic Mode

หมายเหตุ รายละเอียดของปั๊ม นมล. และการใช้งานให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ

12.2.1.3. ข้อควรระวัง

12.2.1.3.1. ต้องเดินปั๊ม นมล.ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และตรวจสอบกำลังดันในระบบก่อนการใช้งานหมู่เฟืองทดรอบ (ก่อนเดินเครื่องจักรใหญ่)

12.2.1.3.2. ขณะทำการหมุนหมู่เฟืองด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าต้องเดินปั๊ม นมล.ขับด้วยมอเตอร์ตลอดเวลา

12.2.2. คูลเลอร์น้ำมันหล่อ (Oil Cooler)

ทำหน้าที่ เป็นสถานที่ระบายความร้อน นมล. (ความร้อนที่ นมล. ระบายมาจากแบริ่งและหมู่เฟือง) เป็นคูลเลอร์แบบหลอดน้ำ (Tube-Type) หรือแบบแผ่น (Plate-Type) ระบายความร้อนด้วยน้ำทะเล

12.2.3. หม้อกรองน้ำมันหล่อ (Oil Filter)

เป็นหม้อกรองชนิดดูเพล็กซ์ (Duplex Filter)

ทำหน้าที่ กรองสิ่งสกปรก ติดตั้งอยู่ในระบบท่อทางก่อนที่จะส่ง นมล. เข้าไปทำงานที่แบริ่งหมู่เฟืองและอุปกรณ์ต่างๆ เป็นหม้อกรองที่สามารถเลือกใช้งานได้ กล่าวคือ เลือกใบหนึ่งใช้งานและอีกใบถอดทำความสะอาดไส้กรอง (ด้วยวิธีการหมุนคันโยกเลือกตำแหน่ง) การอุดตันของหม้อกรอง (ในเรือรุ่นใหม่) จะมีระบบสัญญาณ (ไฟฟ้า) เตือนให้ทราบ

12.2.4 ลิ้นควบคุมกำลังดัน นมล. (Lube Oil Pressure Control)

เป็นลิ้นผ่อนกำลังดัน (Relief Valve) ติดตั้งอยู่ในระบบท่อทางก่อน นมล. เข้าหม้อกรอง ทำหน้าที่ระบาย นมล. กลับไปลงถังพัก ถ้ากำลังดันในระบบสูงเกินเกณฑ์

12.3. การจ่าย นมล. ในระบบ (Lube Oil Distribution)

น้ำมันหล่อที่ผ่านการทำความสะอาดและระบายความร้อนแล้วจะถูกส่งไปใช้งานกับอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

12.3.1. ระบายความร้อนและหล่อลื่นหมู่เฟืองและแบริ่ง

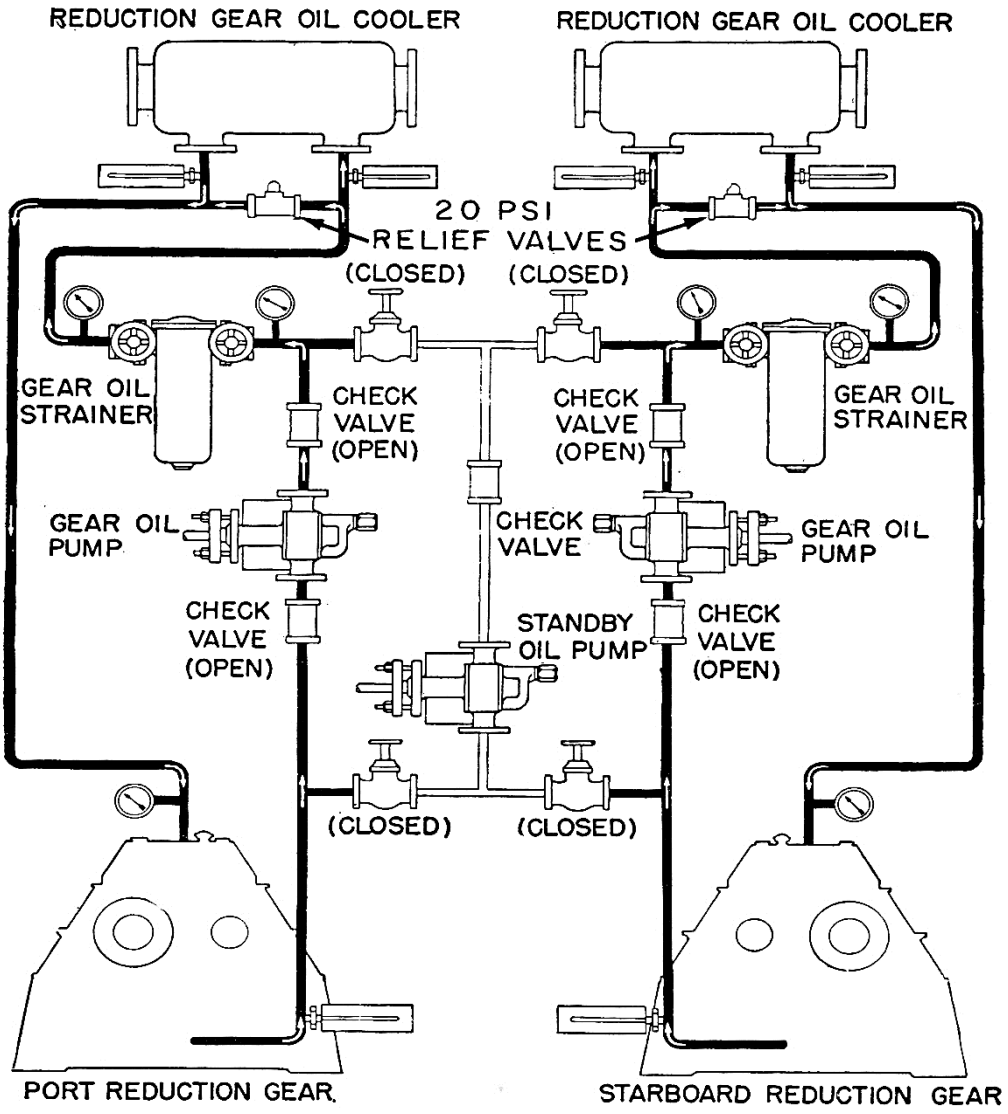
12.3.2. ระบายความร้อนและหล่อลื่นข้อต่อชนิดอ่อนตัวได้ (Gear-Type Coupling)

12.3.3. ระบบคลัทช์

12.3.4. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Thrust Bearing หรือ Thrust Box)

12.3.5. Oil Cooler ของ G.T. (เรือขับเคลื่อน G.T.)

หมายเหตุ รายละเอียดของระบบ ให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ



Lube Oil System

13. การใช้งานหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (Main Reduction Gear Operation)

13.1. กล่าวโดยทั่วไป (General Information)

หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง อยู่ในความรับผิดชอบของแผนกช่างกล ส่วนประกอบต่าง ๆ มีการออกแบบให้มีสภาพคงทนต่อการใช้งาน ทั้งนี้ ต้องได้รับการติดตั้งและมีวิธีการใช้งานอย่างถูกต้องเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ถ้าหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรเกิดการชำรุดหรือต้องมีสภาพการใช้งานภายใต้การควบคุมแล้ว จะทำให้ใช้ความเร็วเรือไม่ได้ตามต้องการ หรืออาจทำให้เสียภารกิจ รวมทั้ง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมทำสูงมากและซ่อมทำโดยช่างโรงงานเท่านั้น เจ้าหน้าที่ทางเรือไม่สามารถซ่อมได้

13.1.1 การใช้งานหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร หมายถึง การเตรียมการ การใช้งาน และการเลิก มีการปฏิบัติที่สัมพันธ์กับการเดินเครื่องจักรใหญ่ ให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเท่านั้น

13.1.2 คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์หมุนหมู่เฟือง (Turning Gear Operating Guide Line) การหมุนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรเป็นสิ่งจำเป็น ด้วยวัตถุประสงค์ตามคู่มือกำหนด อย่างไรก็ตาม มีข้อปฏิบัติโดยทั่วไปที่ต้องระวังเมื่อทำการหมุนหมู่เฟือง ดังนี้

ก. แบริ่งและหมู่เฟือง (และชุดอุปกรณ์หมุน) จะต้องมีน้ำมันหล่อลื่นเข้ามาทำงานก่อนการหมุน ถ้าไม่มีน้ำมันหล่อลื่นหรือมีแต่ไม่พอจะทำความเสียหายให้กับหมู่เฟืองและแบริ่ง เนื่องจากความร้อนสูงเกินเกณฑ์ (Over Heat)

ข. เมื่อหมุนหมู่เฟืองโดยไม่มีน้ำมันหล่อเข้ามาทำงาน การหมุนให้ทำได้เพียง 1¼ รอบของเฟืองทดรอบ (Bull Gear หรือ Main Gear) เท่านั้น การหมุนใน 1 ¼ รอบต่อไปต้องรอ 1 ชั่วโมง (ให้อุณหภูมิลดลง)

ค. ก่อนการหมุนหมู่เฟืองโดยไม่มีน้ำมันหล่อลื่น (เช่น กรณีปั๊ม นมล. ดข้อง) การหล่อลื่นแบริ่งของหมู่เฟืองสามารถกระทำได้โดยนำน้ำมันหล่อลื่นใส่ผ่านหลอดแก้ว (Sign Flow Indicator / ถ้ามี) ส่วนการหล่อลื่นเฟืองของชุดอุปกรณ์หมุนเฟืองก็สามารถทำได้ด้วยวิธีเปิดฝาครอบ (Inspection Port) แล้วใส่น้ำมันหล่อลื่นลงไป

13.2. การเตรียมออกเรือ (Preparation For Getting Underway)

หมายเหตุ ข้อมูลต่อไปนี้เป็นการปฏิบัติโดยทั่วไป รายละเอียดให้ศึกษาจากคู่มือเรือ

13.2.1. ตรวจระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก (Sump) / ทำความสะอาดหม้อกรองน้ำมันหล่อลื่น

13.2.2. นำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นส่งตรวจ น้ำและตะกอน ถ้าตรวจพบให้ทำความสะอาดตามคู่มือก่อนการใช้งาน

13.2.3. ตรวจสอบและทดลองเดินอุปกรณ์ในระบบน้ำมันหล่อลื่นของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรต้องทำงานได้อย่างถูกต้อง การ ปิด - เปิด ลิ้นของระบบท่อทางต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องถูกต้อง

13.2.4. ตรวจสอบกำลังดันน้ำมันหล่อให้อยู่ในเกณฑ์และตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นต้องสูงกว่า 90 องศา F ถ้าต่ำกว่าต้องทำการอุ่นให้ร้อน ทั้งนี้เพราะส่วนประกอบของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรถูกออกแบบให้ใช้งานได้ดีเมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นต่ำสุด 90 องศา F

13.2.5. ตรวจสอบกำลังดันลมควบคุมของลิ้นปรับแต่งกำลังดัน (Air Regulating Valve) ที่ใช้งานกับระบบเบรก (เครื่องจักรใหญ่กังหันก๊าซ) ให้มีกำลังดันอยู่ในเกณฑ์ใช้งาน

13.2.6. ตรวจวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพักสำรองของระบบเบรก (เครื่องจักรใหญ่กังหันก๊าซ) ให้อยู่ในระดับที่ถูกต้อง

13.2.7. ตรวจสอบอุปกรณ์ขับปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกของระบบปรับพิทช์ใบจักร และท่อทางต่าง ๆ เรียบร้อยหรือไม่ (ถ้าติดตั้งใช้งาน)

13.2.8. ตรวจสอบเฟืองหมุน (Turning Gear) และอุปกรณ์ล็อคเพลาใบจักร ต้องอยู่ในตำแหน่งปลด

13.2.9. ตรวจสอบฝาปิดช่องตรวจที่ตัวเรือนหมู่เฟือง ต้องปิดและใส่กุญแจล็อคให้เรียบร้อย

13. 2.10. เตรียมการ / เดินระบบน้ำทะเลระบายความร้อนคุลเลอร์ นมล. (ตามคู่มือเรือ)

13.3. การปฏิบัติโดยทั่วไปเกี่ยวกับการใช้ และการระวังรักษาหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร

13.3.1. ขณะเรือเดินทางควรตรวจสอบกำลังดัน และอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น (ปกติควรอยู่ระหว่าง 120 ° - 130 ° F) รวมทั้งการไหลเวียนที่หลอดแก้วต้องอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ถ้าติดตั้ง) ต้องทำการวัดระดับของน้ำมันหล่อลื่นและบันทึกลงสมุดปูมทุกชั่วโมง แต่ถ้าตรวจสอบพบว่าระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพักมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ต้องทำการตรวจสอบหาสาเหตุและตรวจการรั่วไหลตามสถานที่ต่าง ๆ ดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อย

13.3.2. ถ้าเป็นการออกเรือภายหลังที่เรือจอดมาเป็นระยะเวลานาน หรือภายหลังจากการซ่อมทำแล้วเสร็จ หรือเมื่อได้ตรวจพบว่าน้ำมันหล่อลื่นสกปรก ให้ทำความสะอาดด้วยเครื่องแยกน้ำมันหรือถุงทำความสะอาด (Nylon Bags) โดยเดินระบบน้ำมันหล่อลื่นทำความสะอาดอย่างน้อย 4 ชม. หรือจนกว่าผลการตรวจอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ การทำความสะอาดน้ำมันหล่อลื่นด้วยเครื่องแยกน้ำมันอย่างต่อเนื่องสามารถแยกสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็กและน้ำได้เป็นอย่างดี รวมทั้งช่วยในการทำความสะอาดภายในตัวเรือนหมู่เฟืองได้อีกด้วย

13.3.3. เพื่อการควบคุมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ควรเก็บตัวอย่างส่งตรวจทุกสัปดาห์ หรือตามที่คู่มือกำหนด

13.3.4. การใช้งานหมู่เฟืองลดรอบเพลาใบจักรที่ได้รับการติดตั้งใหม่หรือหมู่เฟืองที่ได้รับการซ่อมทำ / เปลี่ยนเฟืองหรือแบริ่งใหม่หรือปรับศูนย์ใหม่ ควรใช้งานด้วยรอบเดินเบาในระยะแรก (ตามที่คู่มือกำหนด) และเมื่อตรวจสอบการสัมผัสกันของซี่เฟืองได้ศูนย์ถูกต้องดีแล้ว จึงจะสามารถใช้ความเร็วให้หมู่เฟืองรับภาระที่รอบสูงเต็มกำลังได้

13.3.5. เสียงหรือความสั่นสะเทือนผิดปกติ (Unusual Noise or Vibration)

13.3.5.1. เสียงที่เป็นเอกลักษณ์ (Distinctive Noise) ของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร

เสียงที่เป็นเอกลักษณ์ (Distinctive Noise) ที่ทำงานอย่างถูกต้องนั้น เจ้าหน้าที่ที่ทำงานอย่างคุ้นเคยควรจดจำได้ เสียงเหล่านั้นมาจากหลายสาเหตุ เช่น เสียงขบกันที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ของฟันเฟือง เสียงที่มาจากการเยื้องศูนย์ระหว่างเพลาของเครื่องจักรใหญ่และหมู่เฟือง เสียงที่เกิดจากความต้านทานขณะเฟืองหมุนหรือเสียงที่เกิดจากผิวสัมผัสที่ไม่เรียบของฟันเฟือง เป็นต้น เสียงที่ดังไม่ได้บ่งบอกถึงสาเหตุแต่มันอาจจะเป็นเสียงเฉพาะของหมู่เฟืองแต่ละชุด ซึ่งหมู่เฟืองที่สร้างด้วยแบบเดียวกันแต่ถ้านำไปตั้งในห้องเครื่องที่มีสภาวะแวดล้อมต่างกัน เสียงที่ดังออกมาอาจจะไม่เหมือนกันก็ได้ ดังนั้น ควรให้ความสำคัญของเสียงที่เปลี่ยนไป และต้องดำเนินการตรวจหาสาเหตุทันที โดยเฉาะถ้าจำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรใหญ่หรือล็อคเพลาใบจักร (กรณีหลายเพลาใบจักร) หรือแม้กระทั่งต้องหยุดเครื่องจักรใหญ่ทั้งหมดให้เรือลอยลำและตรวจหาสาเหตุก็ควรที่จะตัดสินใจดำเนินการ ทั้งนี้เพราะการใช้งานหมู่เฟืองลดรอบเพลาใบจักรขณะที่เกิดเสียงดังผิดปกติ อาจเป็นสาเหตุให้ซี่ฟันของหมู่เฟืองชำรุด (การทดลองหมุนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรด้วยชุดเฟืองหมุนหรือ Turning Gear อาจแยกเสียงและอาจทำให้ทราบที่มาของเสียงที่ดังผิดปกติก็ได้)

13.3.5.2. การเกิดเสียงดังที่หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรของเรือประเภทขับเคลื่อนไอน้ำ

เสียงที่เกิดจากโลหะกระทบกันด้วยความถี่สูง (Rumbling) มักเกิดขึ้นกับเรือที่ใช้เพลาใบจักรมากกว่า 1 เพลา ขณะใช้ความเร็วต่ำ สาเหตุเพราะในขณะที่เรือใช้ความเร็วต่ำหรือต่ำมาก ๆ นั้น จะมีไอน้ำถูกส่งเข้าไปทำงานในเครื่องเฉพาะกังหันกำลังดันสูงเท่านั้น และแรงที่กระทำให้เพลาใบจักรหมุนก็เป็นแรงที่ส่งผ่านเฉพาะชุดเฟืองทดรอบของกังหันกำลังดันสูง ส่วนกังหันกำลังดันต่ำ ที่ไม่มีไอน้ำเข้าไปทำงานจะหมุนตามโดยเฟืองทดรอบที่ต่อร่วมอยู่ด้วยกัน จากสาเหตุที่กังหันชุดกำลังดันต่ำหมุนตามดังกล่าว การกระแทกกันของซี่เฟืองทดรอบของชุดกังหันกำลังดันต่ำจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการลอยตัวของเฟืองขับและเฟืองทด และประกอบกับความเร็วของกังหันกำลังดันสูงที่ไม่คงที่ (เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น สภาพคลื่นลม) ทำให้การหมุนของกังหันชุดกำลังดันต่ำเป็นไปในลักษณะกลับไปกลับมา (Wind Mill) และเกิดการกระแทกกันที่ซี่เฟืองจนเกิดเสียงดังกล่าว ซึ่งในทางปฏิบัติเสียง (Rumbling) ที่เกิดขึ้นถือเป็นเรื่องปกติที่เกิดกับหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรของระบบขับเคลื่อนกังหันไอน้ำซึ่งเมื่อเพิ่มความเร็วเรือให้สูงขึ้นเสียงที่ดังจะหายไปเอง

13.3.5.3. การเกิดเสียงดังที่หมู่เฟืองลดรอบเพลาใบจักรเรือขับเคลื่อนกังหันก๊าซ

เสียง (Rumbling) อาจเกิดขึ้นภายหลังเลือกใช้งานเครื่องจักรใหญ่ดีเซลหรือกังหันก๊าซเครื่องใดเครื่องหนึ่ง (Split Plant Operation) ทำให้การส่งกำลังขับผ่านชุดเฟืองทดรอบไปยังเพลาใบจักรด้วยเครื่องจักรใหญ่ตามที่เลือกเท่านั้น สำหรับเฟืองทดรอบของเครื่องจักรใหญ่ที่ไม่ได้ส่งกำลังขับก็จะรับอาการทำให้หมุนตามด้วยเฟืองทดที่ต่อร่วม

(ตัวอย่างเช่นระบบขับเคลื่อน CODOG) และการหมุนตามของเฟืองในลักษณะลอยตัวดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้เกิดเสียง และเสียงนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเร็ว หรือเปลี่ยนตามคุณลักษณะการถ่ายทอดพลังงานของชุดเฟือง หรือสภาพการเกิดคลื่นลม เป็นต้น เสียงอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเร็ว หรือย่านความเร็ว (Speed Range) ควรหลีกเลี่ยงการใช้งานย่านดังกล่าวด้วยการเพิ่มหรือลดความเร็วให้เสียงหายไป

13.3.5.4. เสียงดังที่ผิดปกติขณะใช้ความเร็วต่ำ (Unusual Noise at Low Speed)

ในเรือประเภทขับเคลื่อนกังหันเทอร์ไบน์ใบจักรคู่ อาจมีเสียงดังผิดปกติเกิดขึ้นที่หมู่เฟืองทดรอบขณะเพลาใบจักรหมุนรอบต่ำหรือขณะที่เรือเดินทางในเขตน้ำตื้น เสียงที่เกิดจากโลหะกระทบกันด้วยความถี่สูง (Rumbling) หรือเสียงกระทบของโลหะอย่างแรง (Thumping) เกิดขึ้นโดยแรงบิดของใบจักรที่ถ่ายโดยเพลาใบจักรสู่เฟืองทดขณะที่เรือเดินทางอยู่ในเขตน้ำตื้นนี้ ไม่ใช่เสียงผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยหมู่เฟืองทดและจะไม่เกิดเมื่อเรือเดินทางในเขตน้ำลึก

13.3.5.5. การตรวจสอบสาเหตุความสั่นสะเทือน (Checking the Source of Vibration)

ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรมักมีหลายสาเหตุ ตัวอย่างเช่น เกิดจากการเยื้องศูนย์ (Misalignment) เพลาโค้งงอ ใบจักรชำรุด หรือเกิดการผิดศูนย์ระหว่างเครื่องจักรใหญ่และหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร เป็นต้น ดังนั้น ก่อนจะดำเนินการตรวจหาสาเหตุของความสั่นสะเทือนที่หมู่เฟืองทดรอบ ควรทำการวัดความสั่นสะเทือนที่ตัวเครื่องจักรใหญ่หรือที่ระบบเพลาใบจักรเรียบร้อยแล้วเท่านั้น

13.3.5.6. สภาวะขาดการสมดุล (Imbalance)

การขบกันของฟันเฟืองขับและเฟืองทด (Pinion and Gear) ได้ถูกตรวจสอบให้อยู่ในสภาวะสมดุลจากโรงงานผู้ผลิตเรียบร้อยแล้ว และจะต้องอยู่ในสภาวะสมดุลตลอดไปถ้าได้รับการซ่อมทำที่ถูกต้อง สภาวะที่ไม่สมดุลของเฟืองจะแสดงออกมาในรูปของความสั่นสะเทือน หรือเสียงที่ดังผิดปกติ และการสึกหรอที่เกิดขึ้นอย่างผิดปกติที่แบริ่ง การตรวจสอบสภาวะสมดุลที่หมู่เฟืองด้วยการวัดความสั่นสะเทือนนั้น ควรเริ่มต้นกับส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องแล้ว ก่อนที่จะมีการซ่อมทำใด ๆ ที่หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร

13.3.5.7. การเกิดเสียงขณะใช้งานในสภาวะไม่ปกติ

การใช้งานในสภาวะไม่ปกติ เช่น การเดินเรือในร่องน้ำ หรือการเดินเรือด้วยเพลาใบจักรเดียว (Trail Shaft Operation) เป็นต้น จะทำให้มีเสียงโลหะกระทบกันด้วยความถี่สูง (Rumbling) เกิดขึ้นในหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรได้เสมอ

13.3.5.8. การเกิดเสียงเนื่องจากใบจักรชำรุด

การหมุนของใบจักรที่ชำรุดเป็นสาเหตุให้เกิดความสั่นสะเทือนที่เพลาใบจักรอย่างรุนแรง และเกิดเสียงโลหะกระทบกันด้วยความถี่สูงที่หมู่เฟืองทดรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะที่เดินเรือด้วยเพลาใบจักรเดียว (เรือที่มีหลายเพลาใบจักร) หรือขณะเลือกใช้เครื่องจักรใหญ่เทอร์ไบน์หรือดีเซล (split Plant Operation) ของเรือที่ใช้ขับเคลื่อนระบบ CODOG อาการและสาเหตุดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรเกิดการชำรุดได้

13.3.6 การหล่อลื่น (Lubrication)

13.3.6.1. น้ำมันหล่อลื่น (Lubrication Oil) ต้องใช้ตามที่คู่มือกำหนด ระบบน้ำมันหล่อลื่นของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรถูกออกแบบให้มีอัตราการ สูบ-ส่ง ด้วยกำลังดันและอุณหภูมิที่ถูกต้องเท่านั้น

13.3.6.2. การระวังรักษาระบบน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้การทำงานของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีอายุใช้งานที่ยาวนานนั้น จะต้องดูแลเกี่ยวกับความสะอาดตลอดเวลา สิ่งที่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นสกปรกได้แก่ น้ำ (น้ำจืด /น้ำทะเล) เศษผง เศษโลหะ เป็นต้น

- สิ่งสกปรกทั่วไป ได้แก่ น้ำหรือเศษโลหะ สิ่งสกปรกเหล่านี้สามารถตรวจได้ด้วยวิธี Clear and Bright และสามารถทำความสะอาดได้ด้วยเครื่องแยกน้ำมันหรือหม้อกรอง โดยสามารถส่งน้ำมันผ่านอุปกรณ์ดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่องหรือด้วยวิธีการแยกระบบเพื่อทำความสะอาดแยกน้ำและสิ่งสกปรกออกก็ได้ การตรวจสอบการทำความสะอาด ด้วยเครื่องแยกน้ำมันให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือ สำหรับระบบที่ไม่มีเครื่องแยกหรืออุปกรณ์ทำความสะอาดน้ำมันหล่อลื่น การเปลี่ยนถ่ายจะต้องเป็นไปตามที่คู่มือเรือกำหนดเท่านั้น

- อาจมีสิ่งสกปรกจำนวนมากที่ปนเข้าไปกับน้ำมันหล่อลื่น และสะสมอยู่ในระบบ เมื่อไรก็ตามที่เปิดฝาครอบหมู่เฟืองหรือฝาครอบแบริ่งเพื่อทำการซ่อมบำรุงหรือตรวจสอบอุปกรณ์ภายใน (หรือเมื่อเรือจอดนานๆ) ถ้าพบว่ามีสิ่งสกปรกสะสมอยู่ในช่องทางเดินน้ำมันหล่อลื่นจำนวนมาก (หรือภายในสกปรก) การทำความสะอาดน้ำมันหล่อลื่นทำได้โดยใช้ผ้าหรือถุงผ้ากรองทำความสะอาดติดตั้งไว้ที่หม้อกรอง (ใส่แทนไส้กรองที่ใช้งานตามปกติ) แล้วเดินระบบทำความสะอาดจนสิ่งสกปรกออกหมดไป (ทร.อม.ใช้ถุงผ้ากรองทำความสะอาด ข้อดี สามารถกรองเศษโลหะได้)
- เมื่อเลิกเครื่องจักรใหญ่แล้วให้ทำการเดินปั๊มน้ำมันหล่อลื่นทิ้งไว้ เดินระบบน้ำทะเลระบายความร้อนน้ำมันหล่อลื่น และหมุนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรด้วยเครื่องหมุนต่อไป พร้อมทั้งเดินเครื่องทำความสะอาดน้ำมันหล่อลื่น (ถ้ามี) ให้เลิกระบบน้ำระบายความร้อนและเครื่องแยกน้ำมันภายหลัง 2 ชั่วโมงไปแล้ว แต่ยังคงเดินปั๊มให้น้ำมันหล่อลื่นวนเวียนต่อไปจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นคงที่เท่ากับอุณหภูมิห้องจึงเลิกปั๊ม (การหมุนหมู่เฟืองด้วยอุปกรณ์หมุน สามารถเลิกได้ภายใน 2 ชม. และเมื่อเลิกปั๊มน้ำมันหล่อลื่น) การปฏิบัติเช่นนี้เพื่อลดการเกิดการควบแน่นของไอน้ำภายในหมู่เฟือง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสนิม

13.3.6.3. ผลที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นสกปรก (Effects of foreign Materials In Oil)

- น้ำจืดสามารถรั่วเข้าไปในระบบน้ำมันหล่อลื่นของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรได้ทางระบบไอน้ำป้องกันรั่วที่ (คจญ. กังหันไอน้ำ) น้ำมีผลทำให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นลดลง ลดการเกิดฟิล์ม และทำให้มีสภาพเป็นกรด สนิมมักเกิดขึ้นภายในฝาครอบหมู่เฟืองเกียร์ด้านบนและบริเวณผิวสัมผัสของซี่เฟืองที่เป็นสาเหตุทำให้ส่วนประกอบภายในชำรุด
- น้ำสามารถรวมตัวอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างอิสระ (เห็นเป็นเม็ดน้ำ) หรืออาจจะแตกตัวผสมอยู่ในน้ำมันก็ได้ (ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้) น้ำที่รวมตัวเป็นอิสระอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานกับเครื่องจักรใหญ่กังหันไอน้ำนั้น สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยเครื่องแยกน้ำมัน ต่างกับน้ำที่ปนในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลที่ทำความสะอาดยาก แต่ทั้งนี้เพื่อป้องกันน้ำและสิ่งเจือปนอื่น ๆ รวมทั้งเพื่อให้รู้ถึงวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกให้หมดไปควรปฏิบัติกับระบบตามคู่มือ
- น้ำทะเลที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเป็นอันตรายอย่างร้ายแรง ทั้งนี้ จำนวนน้ำทะเลเพียงเล็กน้อยก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างมากมายกับส่วนประกอบภายในของหมู่เฟือง โดยในอดีตพบว่าน้ำทะเลสามารถเข้าไปในระบบได้เนื่องจากคูลเลอร์ระบายความร้อนน้ำมันหล่อลื่นชำรุด หรือไม่ก็เกิดจากน้ำท่วมหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร ต้องทำการตรวจสภาพของน้ำมันหล่อลื่นบ่อยครั้งขึ้นและทำการตรวจตามซี่เฟืองว่าเป็นสนิมหรือมีการกัดกร่อนเกิดขึ้นหรือไม่ทันทีที่ตรวจพบว่ามีน้ำทะเลปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น รวมทั้งต้องตรวจหาที่มาของปัญหาดังกล่าว ดำเนินการซ่อมทำและทำความสะอาดระบบ / เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ทันทีที่ซ่อมทำแล้วเสร็จ ทั้งนี้ น้ำทะเลสามารถทำความเสียหายและลดอายุการใช้งานของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรให้สั้นลงอย่างไม่มีทางแก้ไข

13.3.6.4. ระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก (Level of Oil in MRG Sump)

ระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพักของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรจะต้องไม่สูงจนสัมผัสกับเฟือง (Main Gear) เพราะจะเป็นสาเหตุทำให้น้ำมันหล่อลื่นเป็นฟองและมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนไม่สามารถเพิ่มความเร็วของเครื่องจักรใหญ่ได้ การตรวจทำได้โดยสังเกตสภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลเวียนในหลอดแก้วดูน้ำมัน (Sign Flow) จะต้องไม่เป็นฟอง หรือตรวจพบโดยมีน้ำมันหล่อลื่นรั่วไหลตามจุดเชื่อมต่อของตัวเรือนหมู่เฟืองเกียร์และซีลเพลา เป็นต้น เมื่อทำการตรวจพบดังกล่าวให้รีบดำเนินการแก้ไข โดยลดความเร็วหรือหยุดเครื่องจักรใหญ่ แล้วระบายน้ำมันหล่อลื่นที่เกินออกจากถังพักให้อยู่ในระดับที่ถูกต้อง ถ้าระดับน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้นเกิดจากสาเหตุการอุดตันในระบบท่อทาง ให้ทำการตรวจหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขให้กลับสู่สภาวะปกติ

13.3.6.5. หัวฉีดน้ำมันหล่อลื่นหมู่เฟือง (Gear Mesh Oil Spray)

ต้องแน่ใจว่าหัวฉีดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องทำการตรวจสภาพของหัวฉีดทุกตัวที่สามารถตรวจได้ (ทุก 3 เดือน) รวมทั้งไส้กรอง (ถ้ามี) การฉีดน้ำมันที่ถูกต้องของหัวฉีดจะต้องมีพื้นที่การฉีดครอบคลุมบนหมู่เฟืองร่วมกันกับระยะการฉีดของหัวฉีดที่อยู่ด้านข้าง แต่ถ้าตรวจพบมีสิ่งอุดตันที่ไส้กรอง (ถ้ามี) ให้ทำการตรวจสอบ

การอุดตันที่หัวฉีดด้วย ให้ตรวจสอบการฉีดน้ำมันขณะที่เฟืองไม่ได้ทำงานโดยการเปิดช่องตรวจ แต่ถ้าเป็นการตรวจในขณะที่น้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิต่ำ ระยะการฉีดของหัวฉีดอาจจะมีพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าการฉีดขณะที่น้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิใช้งาน

13.3.6.6. การระบายอากาศตัวเรือนหมู่เฟือง (MRG Case Vent)

กำลังดันภายในตัวเรือนเฟืองทดรอบเพลาใบจักรสูง มีสาเหตุมาจากการขยายตัวของอากาศขณะอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าไม่มีท่อระบายกำลังดันที่สูงขึ้น (อากาศ) อาจเป็นสาเหตุทำให้การไหลเวียนของน้ำมันหล่อลื่นในระบบผิดปกติ และเป็นสาเหตุทำให้น้ำมันหล่อลื่นรั่วผ่านซีลแบริ่งและจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ได้ การป้องกันกำลังดันสูงดังกล่าวด้วยการติดตั้งท่อระบายอากาศ (Vent) ที่ตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร และติดตั้งอุปกรณ์ดักไอระเหยของน้ำมันหล่อลื่น (Electrostatic Precipitator) ไว้ที่ท่อระบายอากาศ ทั้งนี้ เพราะไอระเหยของน้ำมันอาจก่อให้เกิดการระเบิดได้ และไม่ควรนำอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดประกายไฟเข้าไปใกล้

13.3.6.7. อุณหภูมิตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรสูงเกิน (MRG Case Overheating)

ตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรมีอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ แสดงถึงระบบการไหลเวียนของน้ำมันหล่อลื่นและระบบระบายอากาศที่ตัวเรือนบกพร่อง ต้องหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไข โดยเฉพาะตัวเรือนของหมู่เฟืองหมุนเครื่อง (Turning Gear CASING) ที่มีระบบน้ำมันหล่อลื่นในตัวเอง จะต้องมีอุปกรณ์แสดง / แจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์

13.3.7. การตรวจสอบอุณหภูมิแบริ่ง (Bearing Temperature)

น้ำมันหล่อที่ออกจากคูลเลอร์ระบายความร้อน และจ่ายไปยังแบริ่งของหมู่เฟืองจะต้องมีอุณหภูมิตามที่คู่มือกำหนด ซึ่งปกติควรอยู่ระหว่าง 120 ° - 130 ° F และต้องไม่สูงเกินเกินกว่า 180 °F เมื่อออกจากเรือนแบริ่ง (หรือเพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 50 °F ของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ออกจากคูลเลอร์)

13.3.7.1. การส่งสัญญาณเตือนเมื่อน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิสูง (Remote Alarms) นอกจากมีเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดติดตั้งประจำที่แล้ว หมู่เฟืองลดรอบบางแบบยังมีเครื่องวัดอุณหภูมิที่สามารถตรวจสอบได้จากระยะไกลโดยใช้เทอร์โมคอปเปิล หรือ RTE ติดตั้งไว้ที่เรือนแบริ่ง (ข้อต่อของหลอดแก้วดูน้ำมัน) หรือติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิโดยตรงจากแบริ่ง (Babbitt) การส่งสัญญาณเตือนเมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของแบริ่งชุดที่ติดตั้งไกลสุดมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 20 °F ของอุณหภูมิใช้งานปกติ

13.3.8. การล็อกเพลาใบจักร (Requirement for Lockling A Propulsion Line Shaft)

ข้อควรระวัง อย่าพยายามล็อคเพลาใบจักรขณะที่เพลาใบจักรยังไม่หยุดหมุน

13.3.8.1. วัตถุประสงค์ของการล็อกเพลาใบจักร

ก. เพื่อป้องกันอันตรายและความเสียหายของอุปกรณ์ขณะมีการปฏิบัติงานใต้น้ำของนักประดาน้ำ

ข. การล็อกเพลาใบจักรมีความจำเป็นเพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายมากขึ้นของอุปกรณ์ / เครื่องจักรอื่น ๆ เช่น หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรกรณีขาดการหล่อลื่น

ค. ภายใต้การใช้งานปกติ ไม่ควรจะพยายามล็อคเพลาใบจักรขณะเรือยังไม่หยุดนิ่ง สำหรับช่วงการฝึกหรือในสถานการณ์ฉุกเฉินให้ทำการล็อคเพลาใบจักรได้เมื่อเพลาหยุดหมุน หรือปฏิบัติตามคู่มือเรือกำหนดเท่านั้น

ง. ให้ทำการล็อคเพลาใบจักรเมื่อมีสถานการณ์จำเป็นเพื่อป้องกันการหมุนของอุปกรณ์เครื่องจักร เช่น ขณะเรืออยู่ในระหว่างควบคุมความเสียหายระบบขับเคลื่อน หรือเรือกำลังถูกลากจูง หรือเมื่อทิ้งสมอเพื่อปฏิบัติการใต้น้ำ หรือเมื่อทิ้งสมอในสถานที่ที่มีกระแสน้ำแรงเพื่อป้องกันเพลาใบจักรหมุนในลักษณะกลับไปกลับมา (Wind Milling)

13.3.8.2. ข้อป้องกันอันตรายขณะทำการล็อกเพลาใบจักร (Locked Shaft Precaution)

ก. ถ้าได้ต่อเฟืองหมุนเพลาใบจักร (Turning Gear) เรียบร้อยแล้ว ห้ามทำการหมุนเพลาใบจักรไม่ว่ากรณีใด ๆ (หมุนด้วยไอน้ำ) ทั้งนี้เพราะอัตราทดสอบระหว่างเฟืองหมุนและเพลาใบจักรต่างกันมากซึ่ง 1 รอบการหมุนของเพลาใบจักรทำให้เฟืองหมุนเพลาชำรุดได้ทันที (เรือประเภทไอน้ำ)

ข. เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านการล็อกและปลดล็อกเพลาใบจักรขณะเรืออยู่กลางทะเลจะต้องมีความรู้และคุ้นเคยกับการปฏิบัติงานดังกล่าวเป็นอย่างดี การล็อกหรือปลดอุปกรณ์ล็อกเพลาจะต้องกระทำด้วยความรวดเร็ว วิธีการล็อกหรือปลดล็อกเพลาใบจักรให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเท่านั้น

ค. การล็อคเพลาใบจักร เป็นการปฏิบัติเมื่อเกิดข้อขัดข้องกับหมู่เฟืองลดรอบเพลาใบจักรเท่านั้น (ห้ามปฏิบัติขณะใช้งานได้ปกติ) การปฏิบัติเหมือนกับการลากเพลาใบจักรข้อ 3.9 ต่างกันที่เพลาใบจักรถูกล็อคไม่ให้เกิดการหมุนตามน้ำ และปรับพิทช์ใบจักรในตำแหน่งเดินหน้าสูงสุดเพื่อลดแรงฉุดจากกระแสน้ำ (เรือใช้ระบบปรับพิทช์ใบจักร)

13.3.9. การปฏิบัติเมื่อลากเพลาใบจักร (Trail Shaft)

การเดินเรือด้วยเพลาใบจักรเดียวเพื่อประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น (เรือที่มีมากกว่า 1 เพลาใบจักร) การปฏิบัติกับเพลาใบจักรที่ไม่ได้ใช้งาน คือ ปลดคลัทช์เครื่องจักรใหญ่ ปรับพิทช์ใบจักรในตำแหน่งเดินหน้า 100 % ปล่อยให้เพลาใบจักรหมุนตามแรงฉุดของกระแสน้ำ และต้องทำการตรวจสอบทั้งกำลังดันและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรที่ไม่ได้ใช้งาน (ถูกลาก) ให้อยู่ในเกณฑ์ตามคู่มือตลอดเวลา

13.3.10. การป้องกันแรงบิดสูง (Prevention of Over Torqueing)

เงื่อนไขของการขับเคลื่อนเรือที่มีประสิทธิ์ภาพขึ้นอยู่กับ การกินน้ำลึกของตัวเรือ (หรือระวางขับน้ำ) การออกแบบขนาดของใบจักร และสภาพของผิวภายนอกตัวเรือ ซึ่งภายใต้ของเงื่อนไขดังกล่าว เครื่องจักรใหญ่สามารถสร้างแรงบิดสูงสุดขณะใช้ความเร็วเต็มตัวได้โดยไม่เกิดอาการรับภาระเกิน (Overload) แต่ถ้าเรือบรรทุกน้ำหนักมาก (หรือระวางขับน้ำมากกว่าที่กำหนด) แรงบิดที่เกิดจากการทำงานของใบจักรจะเพิ่มขึ้นและถ้าสภาพผิวภายนอกของตัวเรือสกปรกด้วยแล้ว การทำงานในรอบสูงสุดของเครื่องจักรใหญ่จะทำให้เกิดแรงบิดที่สูงกว่าเกณฑ์เกิดขึ้นภายในหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรได้ ทั้งนี้ การเกิดแรงบิดสูงเกินเกณฑ์ที่หมู่เฟืองทดรอบไม่ได้เกิดเฉพาะเมื่อมีการผิดเงื่อนไขดังกล่าว แต่อาจเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น การปรับทริมเรือไม่ถูกต้อง การเดินเรือโดยใช้เครื่องจักรใหญ่เครื่องเดียว (Split plant Operation) เป็นต้น ในคู่มือการใช้งานของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรที่มีอยู่ประจำเรือของแต่ละประเภท ได้กำหนดรอบใช้งานเพลาใบจักรเมื่อเดินเรือด้วยเครื่องจักรใหญ่ตามปกติหรือเมื่อเดินในสภาวะฉุกเฉินไว้แล้วให้ปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

บทที่ 5
ระบบเพลาใบจักร

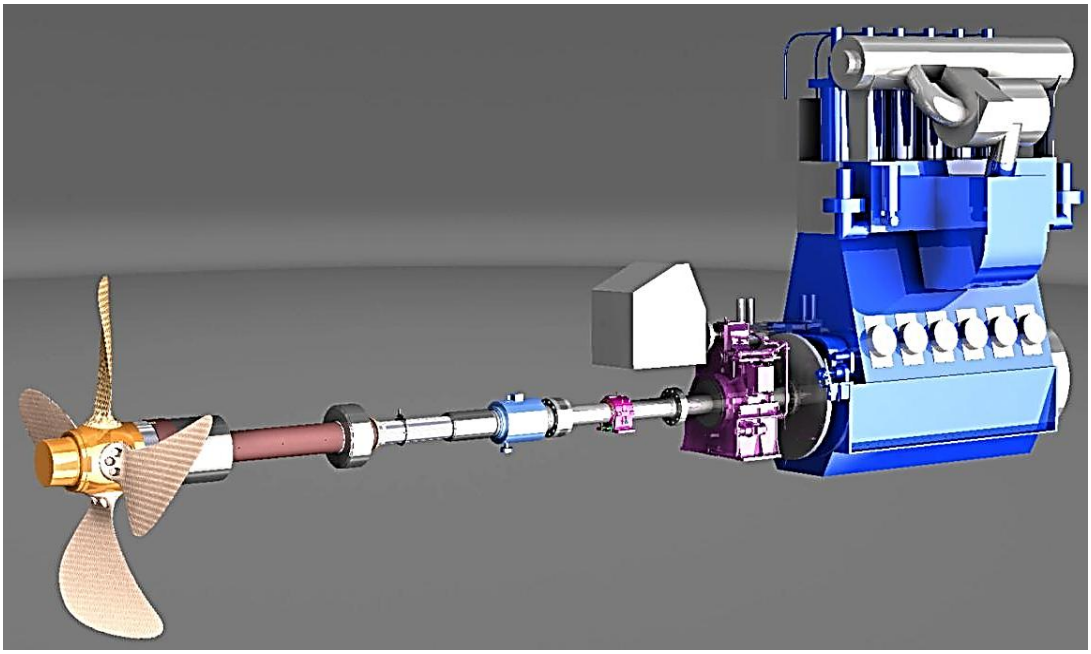
1. บทนำ

เพลาใบจักรเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังงานที่ออกจากเครื่องจักรใหญ่ (ดีเซล เทอร์ไบน์ หรือ มอเตอร์ไฟฟ้า) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกล ผ่านชุดหมู่เฟืองทดรอบส่งไปผลักน้ำเพื่อขับเคลื่อนตัวเรือโดยเพลาใบจักรและใบจักร

ระบบเพลาใบจักรของเรือเป็นอุปกรณ์ส่งกำลังที่ช่วยให้เรือเดินหน้าหรือถอยหลัง หากการใช้งานในระบบไม่ถูกวิธีหรือการบำรุงรักษาไม่มีหรือไม่ดีพอ ก็จะทำให้เสื่อมสภาพเร็วกว่ากำหนด ดังนั้นเจ้าหน้าที่ประจำเรือจำเป็นต้องรู้วิธีการใช้งานระบบเพลาใบจักรที่ถูกวิธีและต้องให้ความสำคัญในการดูแลรักษาระบบเพลาใบจักรให้ใช้ราชการได้ตลอดเวลา ในบทนี้มีความมุ่งหวังที่จะให้ความรู้เรื่องเพลาใบจักรและแบริ่งรองรับเพลาใบจักรประเภทต่าง ๆ รวมทั้งปัญหาที่มักพบบ่อยในการซ่อมทำปัญหาที่ทำให้เกิดการชำรุดเร็วกว่าปกติ การแก้ไขและการป้องกันเพื่อเป็นความรู้ให้ได้เข้าใจอย่างชัดแจ้ง สามารถนำไปใช้ในการบำรุงรักษาและการใช้งานได้เป็นอย่างดี

2. การทำงานโดยทั่วไปของเพลาใบจักรในระบบขับเคลื่อน

ระบบเชื่อมต่อที่รับกำลังขับจากเครื่องต้นกำลังขับผ่านหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรและผลักดันทำให้เรือเคลื่อนที่ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เพลาใบจักร / แบริ่งเพลาใบจักร / โยงโย่ / ใบจักร ซึ่งการทำงานของระบบเพลาใบจักรที่เกี่ยวเนื่องกับระบบขับเคลื่อนนั้น เริ่มจากเครื่องจักรใหญ่ทำหน้าที่ผลิตกำลังงานออกมาในรูปของการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งมีความเร็วรอบสูง แล้วส่งต่อไปยังเกียร์เพื่อลดความเร็วรอบให้อยู่ในย่านที่ใช้งาน และส่งกำลังงานการหมุนไปยังเพลาใบจักรจนใบจักรเกิดเป็นแรงผลักน้ำให้ตัวเรือเคลื่อนที่ไปได้ ตัวเพลาใบจักรจะยื่นออกนอกตัวเรือผ่านกระบอกดีฟุตมีชุดซีลกันน้ำบริเวณปลายกระบอกดีฟุตด้านในเรือ ทำหน้าที่ป้องกันน้ำทะเลเข้าในเรือ เนื่องจากเพลาใบจักรมีความยาวมากจึงต้องมีแบริ่งรองรับเพลาใบจักรเป็นระยะ ๆ เพื่อรับน้ำหนักของเพลาโดยไม่ให้เกียร์รับน้ำหนักมากเกินไป รักษาศูนย์กลาง และลดการโก่งตัวของเพลาบริเวณใต้ท้องเรือด้านท้ายเรือจะมีโครงสร้างยื่นออกมาเรียกว่า โยงโย่ (Strut) ซึ่งจะติดตั้งแบริ่งรองรับเพลาใบจักรเพื่อช่วยรับน้ำหนักเพลาใบจักร และใบจักร ในกรณีเรือบางลำที่มีความยาวมาก เพลาใบจักรจะมีมากกว่า ๑ ท่อนต่อกันด้วยคัปปลิ้ง (Coupling)



3. ลักษณะและประเภทเพลาใบจักรในระบบขับเคลื่อน

เพลาใบจักรที่ใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว วางทอดไปตามความยาวของตัวเรือ มีทั้งแบบเพลาตันและเพลากลวง หน้าที่ของเพลาใบจักรคือรับกำลังงานการหมุนจากเกียร์เพื่อส่งต่อกำลังงานนี้ไปให้ใบจักร เนื่องจากเพลาใบจักรมีขนาดใหญ่ ความยาวและน้ำหนักมาก จึงต้องมีแบริ่งรองรับเพลาใบจักรเป็นช่วงห่างกันเป็นระยะเพื่อให้เพลาหมุนโดยไม่ติดขัด เพลาใบจักรบริเวณที่ติดตั้งแบริ่งรับเพลา มีปลอกเพลา (Sleeves) ทำด้วย Bronze หรือ Copper - Nickle หุ้มไว้ เพื่อป้องกันเพลาชำรุดที่เกิดจากการเสียดสีกับส่วนประกอบของแบริ่งกรณีที่แบริ่งหมดไปตำแหน่งที่เพลาต้องสัมผัสกับแบริ่งจะสวมปลอกรัดเพลา (Sleeve) เพื่อรองรับแบริ่งรับเพลาใบจักร ถ้าเพลายาวมากจะออกแบบทำแยกเป็นท่อน ๆ โดยใช้หน้าแปลน (Coupling) ต่อเพลาเข้าด้วยกันและเพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง

ด้วยเพลาใบจักรต้องรับภาระทั้ง น้ำหนักเพลาเอง แรงบิดที่เกิดจากการหมุน และแรงผลักที่เกิดจากการรุนตัวเพื่อดันเรือให้เคลื่อนที่ เพลาจึงต้องทำด้วยโลหะ ทั้งจากเหล็ก เหล็กขาวหรือโลหะผสม รวมทั้งเพื่อให้ความแข็งแรงทนต่อการกันกร่อนเพลาใบจักรจึงถูกเคลือบหุ้มไว้ด้วยพลาสติก ยาง หรือเรซินในส่วนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกตัวเรือ

ด้านปลายของเพลาโดยส่วนใหญ่จะเป็นเกลียวเพื่อล็อคใบจักร และล็อคหน้าแปลนเพลา ส่วนของเพลาที่ยื่นออกนอกตัวเรือจะสัมผัสกับน้ำทะเลตลอดเวลา ดังนั้นเพลาที่ทำจากโลหะที่เป็นสนิมจำเป็นต้องมีการหุ้มตัวเพลาเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำทะเลทำปฏิกิริยากับเพลาจนเกิดสนิม

เพลาใบจักรที่ใช้งานในระบบขับเคลื่อนเรือ จะสร้างด้วยเหล็กด้วยวิธีตีขึ้นรูป (Forget Steel) และหากมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6 นิ้ว ขึ้นไป มักสร้างภายในกลวง (Hollow) ซึ่งในเรือบางประเภทอาจจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึงประมาณ 30 นิ้ว

4. ประเภทของเพลาใบจักร

เพลาใบจักรมีการแบ่งประเภทหลักๆ อยู่ 2 ลักษณะได้แก่ แบ่งตามสถานที่ติดตั้งและแบ่งตามลักษณะของใบจักร มีรายละเอียดดังนี้

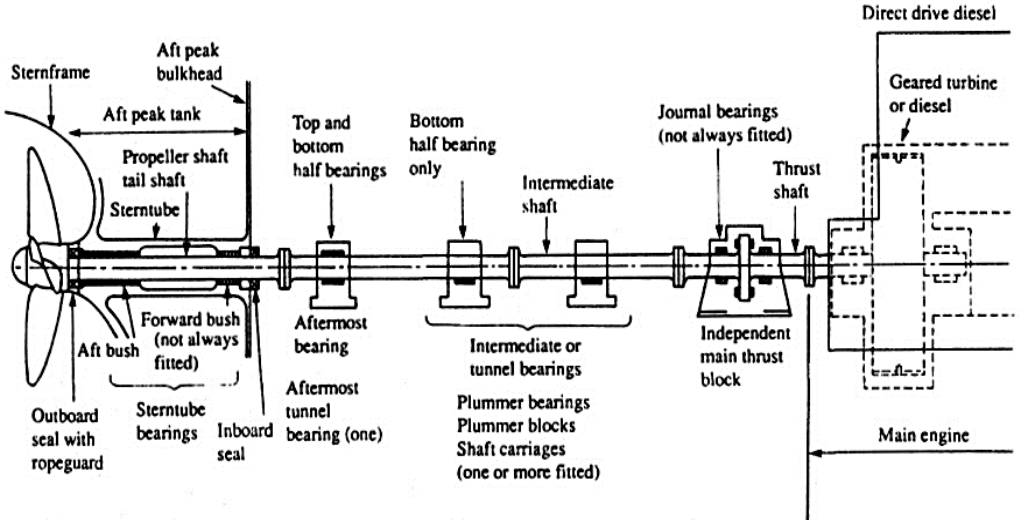
4.1. การแบ่งเพลาใบจักรตามสถานที่ติดตั้ง

เพลาใบจักรถูกแบ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ตามสถานที่ติดตั้ง ได้ 2 ส่วน ดังนี้

1. เพลาใบจักรส่วนที่อยู่ภายในตัวเรือ (In Board หรือ Line Shafting)
2. เพลาใบจักรส่วนที่อยู่ภายนอกตัวเรือ (Out Board หรือ Water Bone Shafting)

4.1.1. เพลาใบจักรอยู่ภายในตัวเรือ หรือ LINE SHAFTING

ประกอบด้วยเพลาหลายส่วน อาจรวมทั้งเพลากันรุน (Thrust Shaft) ถ้าแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรอาจไม่ได้ติดตั้งรวมอยู่ภายในตัวเรือนของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรของเรือบางประเภท



ระบบเพลาใบจักร (Propeller Shaft System)

4.1.2. เพลาใบจักรที่อยู่ภายนอกตัวเรือ หรือ Out Board

ประกอบด้วย Propeller Shaft หรือ Tail Shaft โดยมี Stern Tube Shaft ซึ่งเป็นเพลาใบจักรส่วนที่สอดผ่านกระบอกดีฟุตผนังตัวเรือ และทำหน้าที่ส่งกำลังอยู่ระหว่าง In Board และ Out Board Shaft หรือในเรือบางประเภทเพลาใบจักรส่วนที่อยู่นอกตัวเรืออาจมีเพลาใบจักรที่เรียกว่า Intermediate Shaft หรือ Drop Out Shaft ติดตั้งอยู่ระหว่าง Propeller Shaft และ Stern Tube Shaft อีกด้วยก็ได้

สำหรับเรือผิวน้ำบางประเภทที่ใช้เพลาใบจักรเดี่ยว และเรือดำน้ำ เพลาใบจักร (Propeller Shaft) ยังทำหน้าทีเป็น Stern Tube Shaft อีกด้วย (เรือเล็ก) เพลาใบจักรที่อยู่ภายนอกตัวเรือนี้ ถูกเคลือบไว้ด้วยพลาสติกหรือยาง เพื่อป้องกันการสึกกร่อนเนื่องจากน้ำทะเล ยกเว้นบริเวณที่ติดตั้งแบริ่งรับเพลาใบจักร ซึ่งมีปลอกเพลา (Sleeves) ทำด้วย Bronze หรือ Copper-Nickel หุ้มไว้ ส่วนการเชื่อมต่อเพลาใบจักรที่อยู่ภายนอกตัว (ระหว่าง Tails Shaft และ Stern Tube Shaft) นั้น เชื่อมต่อกันด้วยหน้าแปลน (Flanges) หรือข้อต่อชนิด Muff-Type (Muff-Type Out Board Coupling) และเชื่อมต่อระหว่าง Line Shaft และ Stern Tube Shaft ด้วยข้อต่อที่เรียกว่า In Board Stern Tube Coupling ชนิดถอดได้

4.2. เพลาใบจักรแบ่งตามลักษณะของใบจักร

เพลาใบจักรที่แบ่งจากลักษณะของใบจักรสามารภแบ่งได้ ๒ ประเภทคือ

4.2.1. เพลาใบจักรแบบพิทช์คงที่ (Fixed Pitch PropellerShaft)

เพลาใบจักรแบบนี้ใช้กับเรือที่มีใบจักรแบบพิทช์คงที่ จะมีลักษณะเป็นเพลาตันตลอดทั้งเส้น ในการเดินหน้า ถอยหลัง จะใช้การกลับทิศทางการหมุนของเพลาใบจักร

เพลาใบจักรแบบพิทช์คงที่ (Fixed Pitch PropellerShaft)

4.2.2. เพลาใบจักรแบบปรับพิทช์ได้ (Controllable Pitch Propeller Shaft)

ใช้กับเรือที่มีใบจักรแบบปรับพิทช์ได้ มีลักษณะเป็นเพลากลวงตลอดทั้งเส้น ซึ่งส่วนที่กลวงด้านในจะเป็นทางวิ่งของน้ำมันไฮดรอลิกส์ควบคุมการทำงานของพิทช์ใบจักร ในการเดินหน้า ถอยหลัง จะใช้การปรับมุมพิทช์ใบจักรแทนเพลาใบจักรมีการใช้งานด้วยการหมุน โดยเฉพาะเรือที่มีระบบเพลาใบจักรแบบพิทช์คงที่ มีใช้งานแบบหมุนกลับไปกลับมา ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำเพลาใบจักรจึงต้องมีค่าความแข็งแรง (Strength) เพียงพอต่อความเค้นใช้งานโดยส่วนใหญ่บริษัทผู้สร้างมักจะใช้วัสดุทำเพลาใบจักรให้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานของสถาบันต่อเรือระหว่างประเทศ เช่น LLOYD ABS เป็นต้น

หมายเหตุ ปัจจุบันประเทศไทยได้ให้การรับรองสมาคมจัดชั้นเรือที่เป็นสมาชิกของ International Association of Classification Societies (IACS) ทั้งสิ้น 8 สมาคม ได้แก่สมาคมจัดชั้นเรือดังต่อไปนี้ AMERICAN BUREAU OF SHIPPING ของประเทศสหรัฐอเมริกา / BUREAU VERITAS ของประเทศฝรั่งเศส / DET NORSKE VERITAS ของประเทศนอร์เวย / GERMANISCHER LLOYD ของประเทศเยอรมัน / LLOYD REGISTER OF SHIPPING ของประเทศอังกฤษ / NIPPON KAIJI KYOKAI ของประเทศญี่ปุ่นและ Indian Register of Shipping ของประเทศอินเดีย

เพลาใบจักรแบบปรับพิทช์ได้ (Controllable Pitch Propeller Shaft)

5. วัสดุที่นิยมใช้ทำเพลาใบจักร

5.1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Medium Carbon Steel)

เป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก มีความแข็งแรงสูง แต่มีข้อเสียคือ มักจะเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน (Corrosion) เมื่อสัมผัสกับน้ำหรืออากาศซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสนิม ดังนั้นเพลาใบจักรชนิดนี้จึงต้องมีการหุ้มผิวไว้ด้วยผ้าใบพลาสติก หรือยางเพื่อป้องกันการเกิดสนิม และตำแหน่งที่เพลาต้องสัมผัสกับแบริ่งจะใช้วิธีสวมปลอกรัดเพลา (sleeve) ซึ่งทำด้วยโลหะทองแดงผสม เพราะทนต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเล เพลาที่ทำจากวัสดุชนิดนี้นิยมใช้ตั้งแต่เพลาขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ตัวอย่างของเหล็กกล้าที่ใช้ เช่น SAE1018 , SAE1035 , SAE1045 เป็นต้น

เพลาใบจักรวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน

5.2. เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เพลาใบจักรชนิดนี้เมื่อสัมผัสกับน้ำจะไม่เกิดสนิม ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องมีการหุ้มผิว แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่าและมีราคาสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน จึงนิยมใช้กับเพลาใบจักรขนาดไม่ใหญ่มากนัก ตัวอย่างของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ เช่น AISI303 , AISI304 , AISI316 , AISI630 เป็นต้น

เพลาใบจักรวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม

5.3. Monels

เป็นโลหะผสมระหว่างนิเกิลกับทองแดง ไม่เกิดสนิมเมื่อสัมผัสกับน้ำเช่นเดียวกับเหล็กกล้าไร้สนิม มีความแข็งแรงมากที่สุด แต่มีราคาแพง Monels ที่นิยมใช้ได้แก่ K500

เพลาใบจักรวัสดุ Monels 500

เรือเอกชนขนาดเล็ก ระวางขับน้ำ ประมาณ ๑๐๐-๕๐๐ ตัน เช่นเรือ Speed Boat , Crew Boat , Supply Boat , Tug Boat เป็นต้น ส่วนใหญ่นิยมใช้เพลาใบจักรที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม และ Monels เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และเนื่องจากเพลาใบจักรมีขนาดเล็กจึงเหมาะสมกับราคาและความแข็งแรง ส่วนเรือสินค้าขนาดใหญ่ ระวางขับน้ำประมาณ ๓,๐๐๐-๑๐๐,๐๐ ตัน เช่นเรือ general Cargo , Oil Tanker , Container Cargo เป็นต้น นิยมใช้เพลาใบจักรที่ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนเนื่องจากมีความแข็งแรงสูงและราคาถูกที่สุด

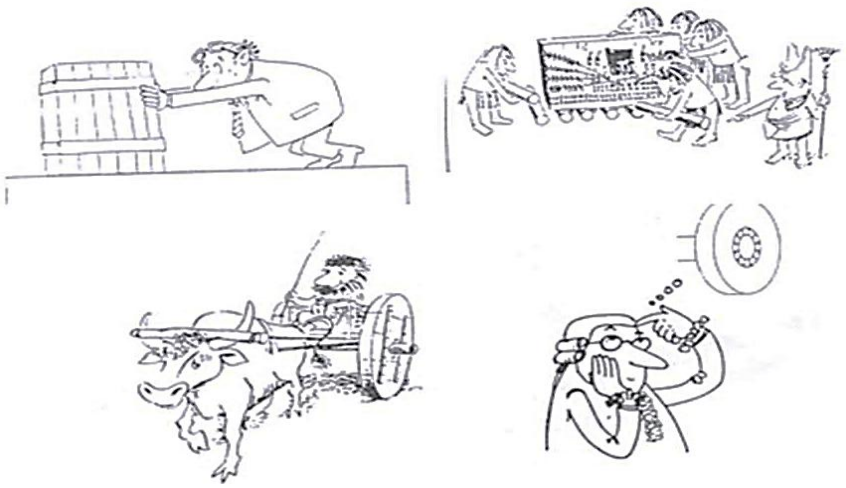
เรือในราชนาวีไทยที่ใช้เพลาใบจักรทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่เป็นเรือที่มีเพลาใบจักรขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า ๖ นิ้ว เช่น ชุดเรือหลวงปราบปรปักษ์ ชุดเรือหลวงราชฤทธิ์ชุดเรือหลวงชลบุรี ชุดเรือหลวงมันใน ชุดเรือหลวงหนองสาหร่าย เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง ชุด เรือ ต.991 เป็นต้น

เรือที่ใช้เพลาใบจักรที่ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนมีตั้งแต่เรือขนาดเล็กจนถึงเรือขนาดใหญ่ เช่นชุดเรือหลวงสัตหีบ เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง ชุด เรือ ต.991ชุดเรือหลวงตาปี ชุดเรือหลวงรัตนโกสินทร์ ชุดเรือหลวงนเรศวร ชุดเรือหลวงเจ้าพระยา ชุดเรือหลวงสุรินทร์ชุดเรือหลวงทองแก้ว ชุดเรือหลวงจุฬา เป็นต้น

บทที่ 6
แบริ่งรองรับเพลาใบจักร

1. บทนำ

แบริ่งคืออุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องจักรทุกประเภทที่มีการหมุน ถ้าไม่มีแบริ่งการหมุนก็จะเป็นไปได้ลำบาก และเสียงที่เกิดจากการเสียดสีจะดังมาก สำหรับแบริ่งรองรับเพลาใบจักรเป็นอุปกรณ์สำคัญที่รับน้ำหนัก รักษาศูนย์กลาง และลดการโก่งตัวของเพลาใบจักร ซึ่งการแบ่งประเภทของแบริ่งรองรับเพลาใบจักรนั้น สามารถแบ่งได้หลายแบบ ทั้งการแบ่งตามตำแหน่งการติดตั้งของตัวแบริ่ง และแบ่งตามลักษณะการทำงานของแบริ่ง ซึ่งในบทนี้จะแสดงหลักการพื้นฐาน พร้อมกับแนะนำแบริ่งที่ใช้เฉพาะงานต่างๆ ให้ทราบจะได้เข้าใจและสามารถนำความรู้นี้ไปใช้ในการทำงานและดูแลรักษาต่อไป



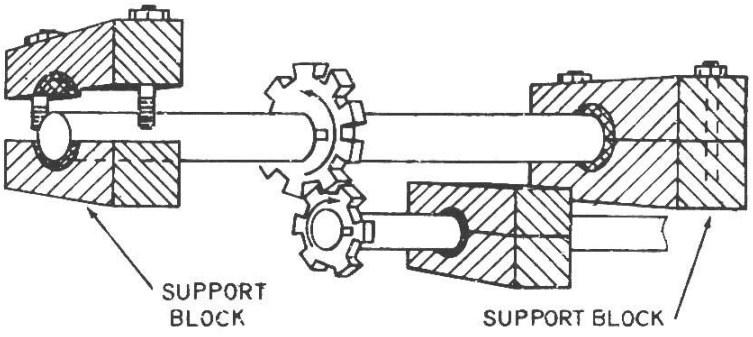
2. ความรู้ทั่วไปของแบริ่ง

2.1. แบริ่งคืออะไร

แนวคิดพื้นฐานทางฟิสิกส์มีอยู่ว่าการหมุนนั้นง่ายกว่าการเลื่อน ล้อที่เราเห็นกันอยู่ทุกวันนี้ คือ แบริ่งขนาดใหญ่ ถ้าหาไม้กระดานมาสักแผ่นหนึ่งแล้วให้คนลาก มันจะเคลื่อนที่ได้ยากกว่าถ้าติดล้อไว้ด้วย เพราะว่าการเคลื่อนที่แบบเลื่อนต้องเผชิญกับความเสียดทานที่เพิ่มขึ้น ระหว่างพื้นที่ของมวลวัตถุสองก้อนที่เสียดสีกัน ถ้าพื้นที่มาก ความขรุขระที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานก็ยิ่งมาก แต่ถ้าเป็นการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง พื้นที่สัมผัสน้อย ความขรุขระที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานก็ยิ่งน้อย แรงเสียดทานจะลดลง

แบริ่งทำจากลูกบอลโลหะขนาดเล็กที่ผิวเรียบ ลื่น ทำให้การหมุนหรือกลิ้งเป็นไปได้สะดวก ราวกับไม่มีแรงเสียดทานทำให้ลูกบอลสามารถรับน้ำหนักได้ขณะที่หมุน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แบริ่ง (Bearing) คือ อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อรองรับโหลด บังคับ และเป็นสะพานให้มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชิ้นส่วนสองชิ้นในแนวรัศมีและแนวแกนที่กำหนดทั้งทางเลื่อนไปมาและการหมุนรอบตัวของเครื่องจักรกล



แบริ่ง (Bearing)

2.2. หน้าที่ของแบริ่ง

2.2.1. รองรับชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว

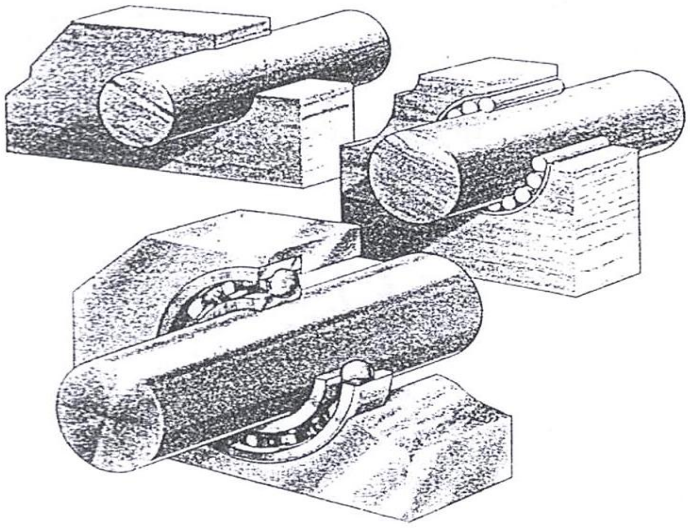
แบริ่งจะต้องรองรับการเคลื่อนที่ของส่วนที่เคลื่อนไหวทั้งทางแนวรัศมี (Radial Load) และทางแนวแกน (Axial Load) และยังต้องยึดตัวชิ้นส่วนนั้นๆให้ได้ศูนย์ด้วย

2.2.2. ลดแรงเสียดทานและความฝืด

แบริ่งจะช่วยลดแรงเสียดทานของส่วนที่เคลื่อนที่ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่แบบลื่นสัมผัส (Sliding Contact) หรือแบบลูกกลิ้ง (Rolling Contact)

2.2.3. ลดการสึกหรอ

การลดความเสียดทานนั้นอาศัยการออกแบบแบริ่งในแต่ละชนิดและสารหล่อลื่นที่ใช้ในแบริ่งจะช่วยให้สามารถลดการสึกหรอลง จึงทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์นานขึ้นเพราะแบริ่งเป็นอุปกรณ์ที่สึกหรอแทนเพลา ฉะนั้นเมื่อแบริ่งชำรุดก็จะเปลี่ยนเฉพาะแบริ่งซึ่งทำให้เป็นการประหยัดเพราะไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนอื่นๆเช่นเพลาเฟือง เป็นต้น



หน้าที่ของแบริ่ง

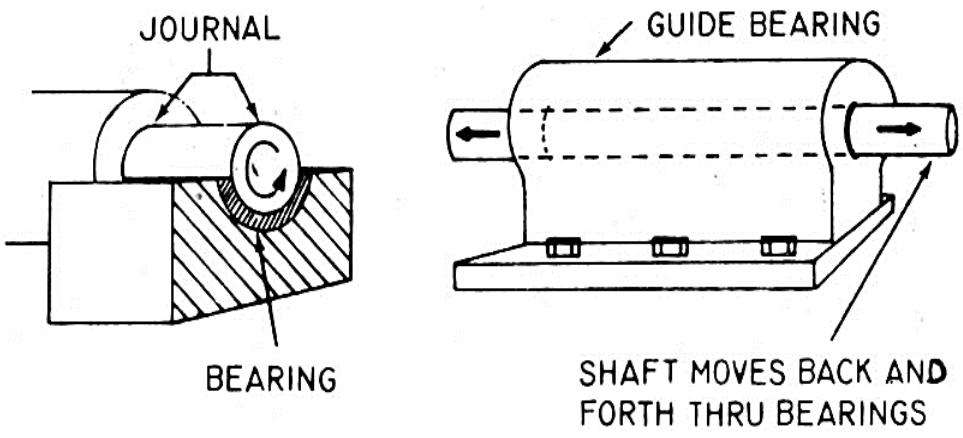
2.3. ชนิดของแบริ่ง

แบริ่งมีลักษณะต่างๆกันหลายชนิดโดยทั่วไปแล้วแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

2.3.1. ประเภทรองรับโดยผิวเลื่อนสัมผัสหรือแบบใช้น้ำมันเป็นตัวคั่น (Sliding Surface Bearing or Friction Bearing)

แบริ่งชนิดนี้มีใช้อยู่ทั่วไปแนวสัมผัสเป็นแบบเลื่อนสัมผัส (Sliding Contact) แรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ค่อนข้างสูงต้องใช้สารหล่อลื่นช่วยมาก แบริ่งแบบนี้ได้แก่ บุ๊ช (Bushings) แบริ่งแบบ2 ฝา แบริ่งชนิดนี้เป็นแบริ่งแบบธรรมดา (Plain baring) แบริ่งกันรุนแบบเกือกม้า(thrust baring) แบริ่งเดือยข้อต่อของเครื่องข้อเสือข้อต่อ และแบบที่ใช้กับเพลาซึ่งหมุนรอบตัว เช่น แบริ่งใหญ่ (Main bearing) แบริ่งเพลาข้อเสือ (Shaft bearing) เป็นต้น

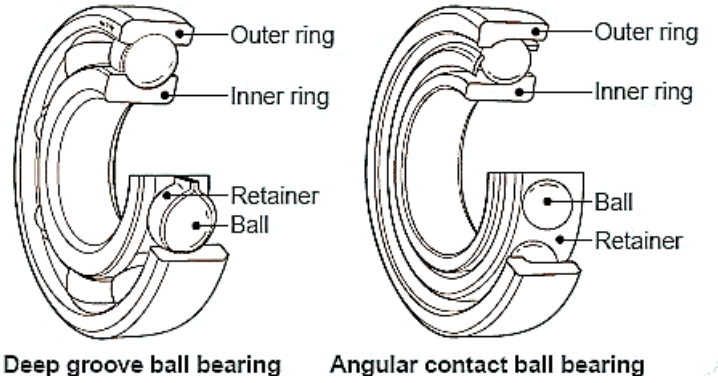
แบริ่งที่ใช้รองรับเพลา เรียกว่า Journal Bearing หมายถึง ส่วนของเพลาที่หมุนอยู่ในแบริ่ง



Sliding Surface Bearing

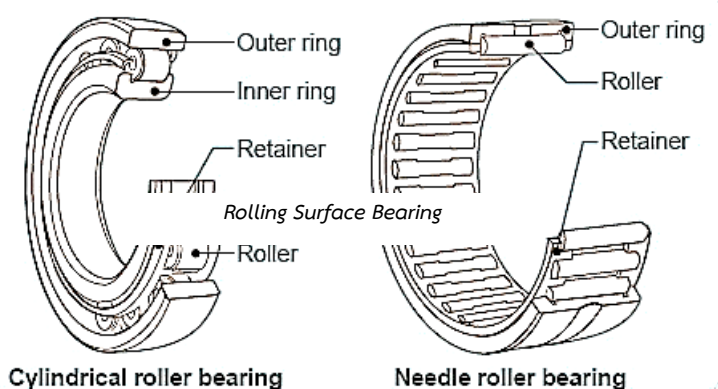
2.3.2. ประเภทรองรับโดยลูกกลิ้งสัมผัสหรือแบบลูกปืน (Rolling Surface Bearing or Anti Friction Bearing)

แบริ่งชนิดนี้เป็นแบริ่งที่รองรับอยู่รอบ ๆ เพลาด้วยจำนวนลูกกลิ้งกลมแบบลูกปืน หรือเป็นแบบเส้นลวดชนิดต่าง ๆ เป็นตัวกลางในการลดแรงเสียดทาน รอยสัมผัสเป็นแบบการกลิ้ง (Rolling Contact) ซึ่งลูกกลิ้งแบบนี้จะมีลักษณะเป็นตลับ



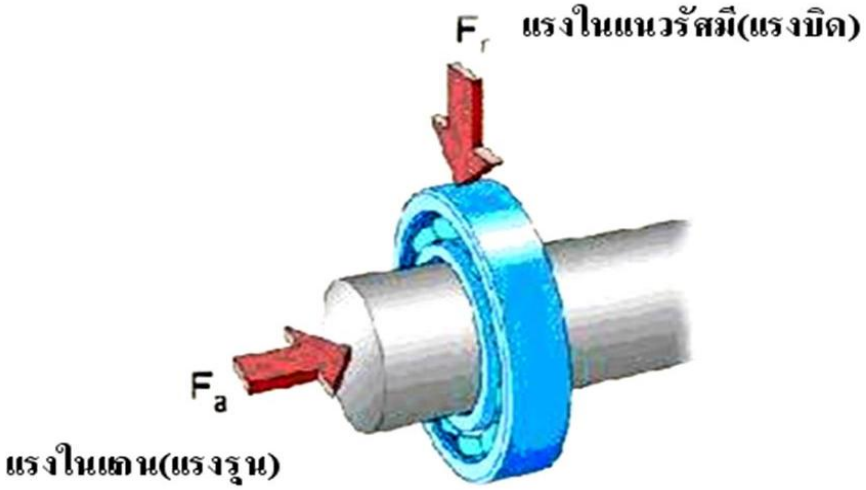
2.4. แรงกระทำบนแบริ่ง (Thrust Surface of Bearings)

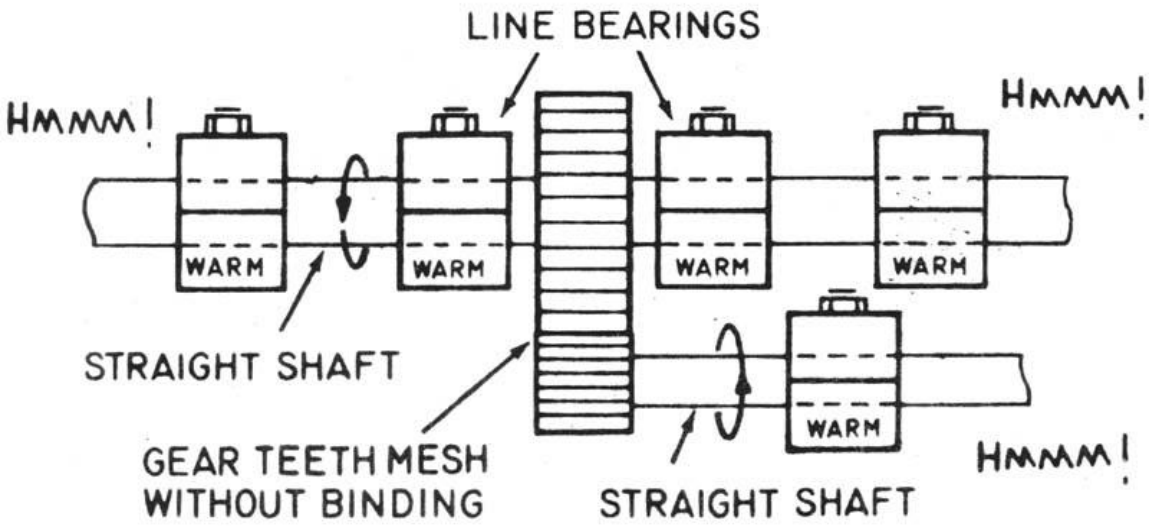
แรงที่กระทำบนแบริ่งจะมีทั้งแรงตามแนวรัศมี (Radial) และแรงตามแนวแกน (Axial) ดังนั้นการเลือกใช้แบริ่งจึงต้องคำนึงถึงแรงที่กระทำดังกล่าว แบริ่งประเภทรองรับโดยผิวเลื่อนสัมผัสแบบธรรมดาและแบริ่งประเภทรองรับโดยลูกกลิ้งสัมผัสนั้น สามารถรับแรงได้เฉพาะแรงตามแนวรัศมี ถ้าต้องการรับแรงตามแนวแกนจะต้องใช้แบริ่งแบบกันรุน (Thrust bearing) แบริ่งบางชนิดออกแบบให้รับแรงได้ทั้งแนวรัศมีและแนวแกน



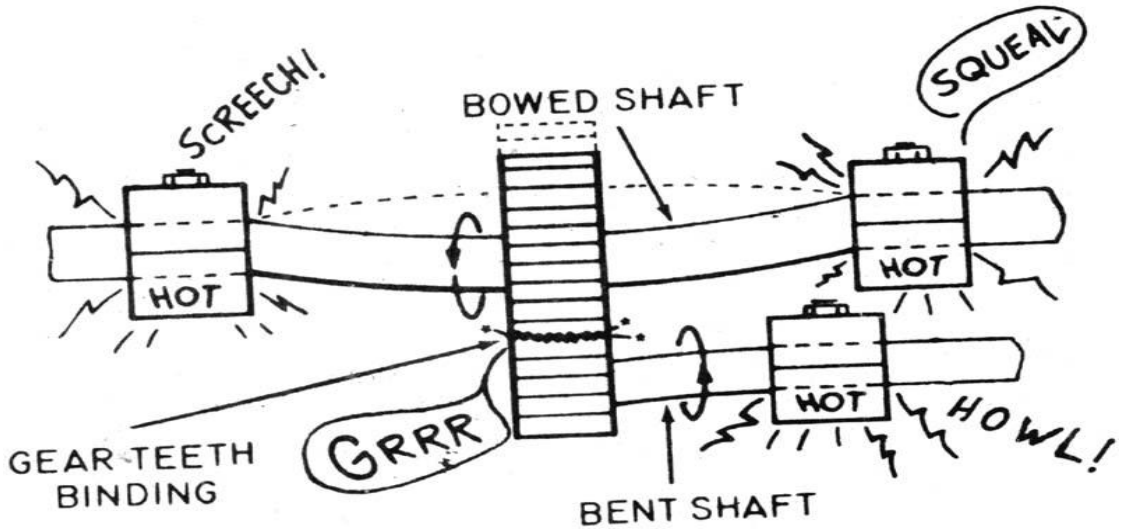
Rolling Surface Bearing

ในตัวเดียวกัน แรงตามแนวแกนใช้ลูกปืนชนิดลูกปืนเรียว (Tapered roller bearing) หรือลูกปืนรอลเลอร์ (Roller bearings)

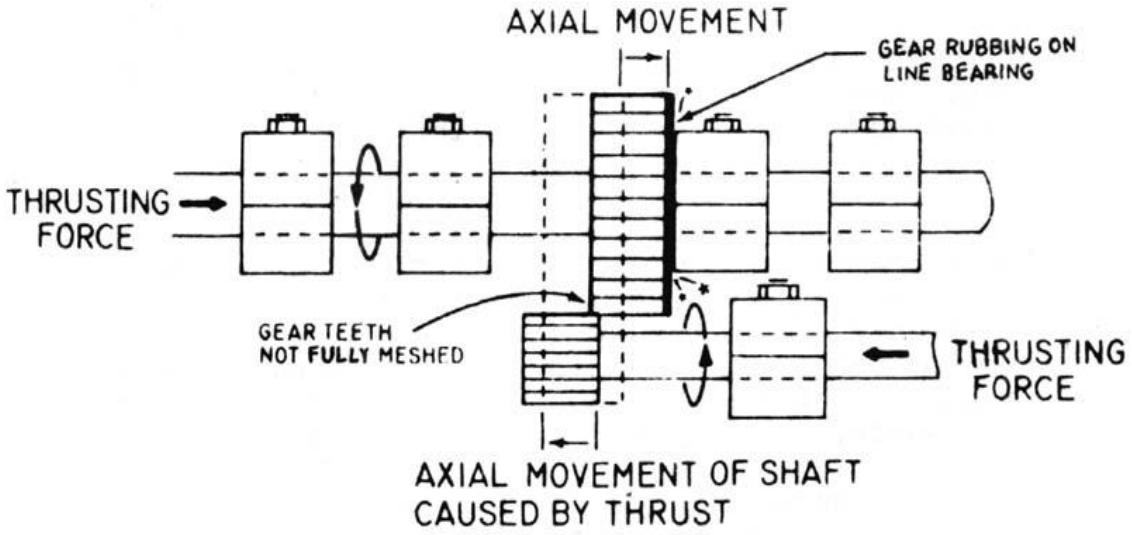




แรงที่กระทำบนแบริ่ง



ผลของแรงที่กระทำตามแนวรัศมี



ผลของแรงที่กระทำตามแนวแกน

2.5. ข้อดีข้อเสียของแบริ่งในแต่ละชนิด

แบริ่งประเภทรองรับโดยผิวเลื่อนสัมผัสและแบริ่งประเภทรองรับโดยลูกกลิ้งสัมผัสมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

2.5.1. แบริ่งประเภทรองรับโดยผิวเลื่อนสัมผัส

ข้อดี

1. ใช้เนื้อที่น้อย
2. ราคาถูก
3. การทำงานเงียบไม่มีเสียงดัง
4. โครงสร้างแข็งแรง

ข้อเสีย

1. มีแรงเสียดทานมาก
2. จะต้องหล่อลื่นตลอดเวลา ไม่สามารถบรรจุสารหล่อลื่นล่วงหน้า (Pre - Packed) ได้

2.5.2. แบริ่งประเภทรองรับโดยลูกกลิ้งสัมผัส

ข้อดีของ

1. แรงเสียดทานน้อย
2. สามารถบรรจุสารหล่อลื่นล่วงหน้าได้ ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาหล่อลื่นหรือทำที่บรรจุที่เติมสารหล่อลื่น
3. สามารถออกแบบได้หลายแบบให้เหมาะสมกับงาน

ข้อเสียของแบริ่งประเภทรองรับโดยลูกกลิ้งสัมผัส

1. ต้องใช้เนื้อที่มากกว่า
2. มีเสียงดัง
3. ราคาแพง
4. มีความแข็งแรงน้อยกว่า

3. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร (Main Propulsion Shaft Bearing)

3.1. ประเภทของแบริ่งรองรับเพลาใบจักร

แบริ่งรองรับเพลาใบจักรเป็นส่วนที่รับน้ำหนัก รักษาศูนย์กลาง และลดการโก่งตัวของเพลาใบจักรซึ่งการแบ่งประเภทของแบริ่งรองรับเพลาใบจักรนั้น สามารถแบ่งได้หลายแบบ ทั้งการแบ่งตามตำแหน่งการติดตั้งของตัวแบริ่ง และแบ่งตามลักษณะการทำงานของแบริ่ง

3.1.1. แบ่งตามตำแหน่งการติดตั้ง

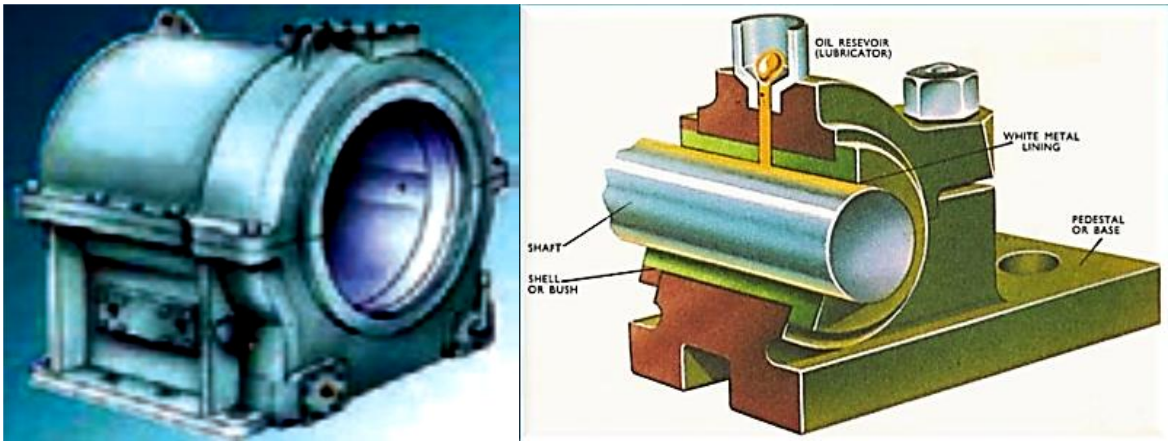
การแบ่งประเภทของแบริ่งรองรับเพลาใบจักรตามตำแหน่งการติดตั้งนี้นสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

3.1.1.1. แบริ่งรองรับเพลาใบจักรที่อยู่ในเรือ

มักจะพบในเรือที่มีเพลาใบจักรด้านในตัวเรือยาวมาก สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท ได้แก่ Journal Bearing และแบริ่งกันรุน (Thrush Bearing)

ก. Journal Bearing

มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตัวเรือนแบริ่ง ภายในจะมีแผ่นรองลื่น (Bearing Shell) รับน้ำหนักตัวเพลา (Journal) แบริ่งชนิดนี้จะใช้การหล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่น โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของเพลา ดึงเอาน้ำมันหล่อลื่นจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นด้านล่างสาดเข้าไปในแบริ่ง วัสดุที่ใช้ทำแผ่นรองลื่นได้แก่ Babbitt (โลหะผสมระหว่างดีบุก พลวง และทองแดง) ตัวอย่างของเรือในราชนาวีไทยที่ใช้แบริ่งประเภทนี้ได้แก่ ชุดเรือหลวงเจ้าพระยา เรือหลวงถลาง ชุดเรือหลวงสุรินทร์ เรือหลวงจุฬา เรือหลวงสุริยะ เป็นต้น



Journal Bearing by Babbitt Bearing

ข. แบริ่งกันรุน (Thrush Bearing)

เป็นแบริ่งรับแรงในแนวแกนเพลาซึ่งเกิดจากแรงดึงของใบจักรขณะผลักดันน้ำ เพื่อป้องกันการชำรุดของเกียร์ แบริ่งกันรุนมี 2 ประเภทคือ แบริ่งประเภท Rolling Bearing เช่น Ball Bearing , Roller Bearing เป็นต้น และ แบริ่งประเภท Hydrodynamics Bearing เรือสมัยใหม่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้แบริ่งประเภท Rolling Bearing และในกรณีที่มีการออกแบบให้มีแบริ่งกันรุนภายในเกียร์อยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งแบริ่งประเภทนี้ที่เพลาใบจักรอีก

Thrust Bearing ชนิด Roller Bearing และ Hydrodynamics Bearing

3.1.1.2. แบริ่งรับเพลาใบจักรที่อยู่นอกเรือ

เป็นแบริ่งประเภท Journal Bearing ใช้ฟิล์มน้ำทะเลช่วยในการหล่อลื่น วัสดุที่นิยมใช้ทำแบริ่งประเภทนี้มีอยู่ 3 แบบ ได้แก่

ก. Thermosetting Resin Bearings

เป็นวัสดุประเภทโพลีเมอร์ มีคุณสมบัติในการต้านทานการสึกน้อยที่สุด มีความแข็งใกล้เคียงกับ Composite Bearings แต่มากกว่า Nitrite Rubber Bearings และมีราคาถูกที่สุด

Thermosetting Resin Bearings

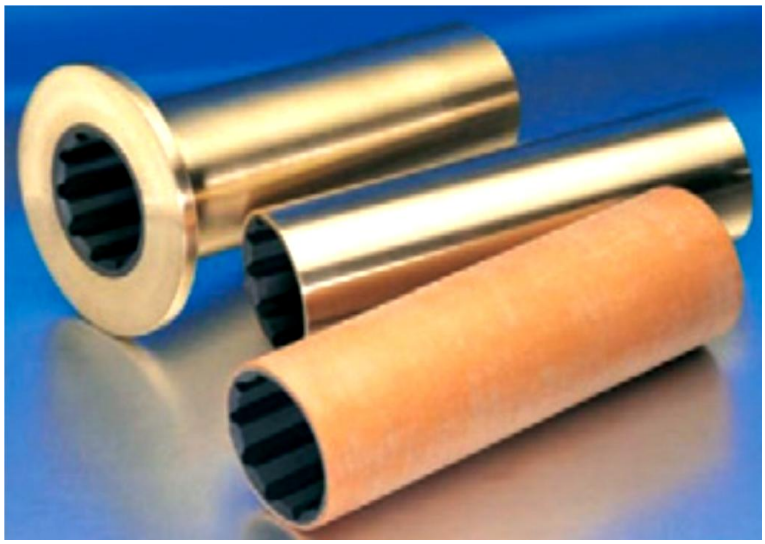
ข. Composite Bearings

มีคุณสมบัติในการต้านทานการสึกมากที่สุด มีความแข็งใกล้เคียงกับThermosetting Resin Bearings แต่มากกว่า Nitrite Rubber Bearings มีราคาใกล้เคียงกับ Nitrite Rubber Bearings สูงกว่า Thermosetting Resin Bearings

Composite Bearings

ค. Nitrite Rubber Bearings

เป็นวัสดุประเภทยางเหนียว มีคุณสมบัติในการต้านทานการสึกมากกว่า Thermosetting Resin Bearings แต่น้อยกว่า Composite Bearings มีความแข็งน้อยที่สุด และมีราคาใกล้เคียงกับ Composite Bearings แต่สูงกว่า Thermosetting Resin Bearings



Nitrite Rubber Bearings

การผลิตแบริ่งรองรับเพลาใบจักรที่อยู่นอกเรือทั้ง 3 แบบนั้น บริษัทผู้ผลิตมักจะผลิตออกมาให้เลือกใช้หลายรุ่นตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันไป ดังนั้น หากผู้ใช้งานจะเลือกใช้แบริ่งชนิดใดควรเลือกรุ่นให้ตรงกับลักษณะการใช้งานของเรือแบริ่งที่อยู่ในเรือ และนอกเรือตามที่กล่าวมา ทั้งหมดมีใช้งานทั้งในเรือเอกชน และในเรือรบของราชนาวีไทย ซึ่งเรือแต่ละลำก็มีการเลือกใช้แต่ละประเภทที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการออกแบบของวิศวกรผู้ออกแบบระบบขับเคลื่อน งบประมาณ และวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายของเรือที่ต่อ ณ ประเทศนั้น ๆ

3.1.2. แบ่งตามลักษณะการทำงานของแบริ่ง

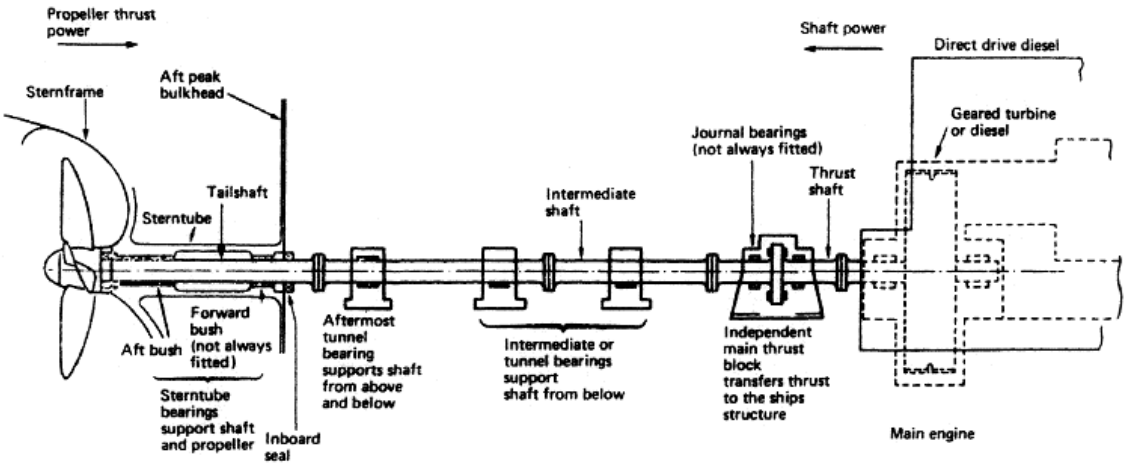
การแบ่งประเภทของแบริ่งรองรับเพลาใบจักรตามลักษณะการทำงาน สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

ก. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Main Propulsion Thrust bearing)

ข. แบริ่งรับเพลาใบจักร (Line Shaft Bearings)

ค. แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร (Main Propulsion Stern Tube and Strut Bearings)

ซึ่งลักษณะการทำงาน ส่วนประกอบ การดูแลรักษา จะได้กล่าวในบทต่อไป



บทที่ 7. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร

เรื่อง แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (Main Propulsion Thrust bearing)

1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร ทำหน้าที่ ถ่ายทอดแรงตามแนวแกน (Axial Thrust) จากใบจักรสู่โครงสร้างตัวเรือ (Ship's Hull) ทำให้เรือเกิดการเคลื่อนที่ และทำหน้าที่รักษาระยะห่างระหว่างปลายเพลาใบจักรและปลายเพลาของหมู่เฟืองทดรอบเครื่องจักรใหญ่ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง

2. การแบ่งประเภทของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร

2.1. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบลูกกลิ้ง (Rolling-Element Thrust Bearing)

เป็นแบริ่งที่ใช้งานในเรือขนาดเล็ก โดยจำแนกออกได้เป็นหลายชนิด เช่น แบริ่งชนิดลูกปืนกลมสัมผัสเชิงมุม (Angular - Contact Ball Bearing) แบริ่งชนิดลูกปืนเม็ดยาว (Cylindrical Roller Bearing) หรือ แบริ่งชนิดเม็ดเรียว (Taper Rolle Bearing) เป็นต้น อายุการใช้งานของแบริ่งกันรุนแบบลูกกลิ้งนี้ ถูกจำกัดด้วยภาระและความเร็วรอบที่ใช้ ซึ่งทำให้มีข้อกำหนดที่สำคัญในการใช้งาน คือ เมื่อครบอายุการใช้งานแล้วต้องเปลี่ยนใหม่ทันที และเป็นสาเหตุทำให้แบริ่งประเภทนี้ไม่นิยมใช้งานในเรือขนาดใหญ่หรือเรือที่มีภาระมาก (เรือใหญ่ / ภาระมาก หรือความเร็วสูง ใช้แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน)

2.2. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน (Hydrodynamic Thrust Bearing)

เป็นแบริ่งกันรุนที่มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ แผ่นเอียงหรือแผ่นรับแรง (Pivoted – Shoe) ทำงานร่วมกับแรงดันฟิล์มน้ำมันหล่อ (Hydrodynamic Film Oil) ในการรับแรงดัน (Axial Thrust) จากบ่าเพลา (Thrust Collar) ของเพลาใบจักร ที่ส่งผ่านฟิล์มน้ำมันหล่อ (Oil Film) แล้วส่งให้โครงสร้างตัวเรือ

ฟิล์มน้ำมันหล่อเกิดจากการหมุนของบ่าเพลาทำให้น้ำมันหล่อเกิดการเหวี่ยงตัวปะทะแผ่นเอียง ซึ่งการปะทะของน้ำมันหล่อนี้ทำให้แผ่นเอียงเกิดการเอียงตัว และเกิดเป็นช่องว่างระหว่างแผ่นเอียง (Pivoted – Shoe) และบ่าเพลา (Thrust Collar) น้ำมันหล่อก็จะถูกชักเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างนั้น

การทำงานที่มีประสิทธิภาพของแบริ่งกันรุนประเภทนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของฟิล์มน้ำมันหล่อและความเร็วในการหมุนของเพลาใบจักร ตัวอย่างแสดงการทำงานของแบริ่ง เช่น ขณะที่เพลาใบจักรหมุนด้วยความเร็วสูงกว่า 20 rpm. การหมุนของบ่าเพลา (Shaft Collar) ทำให้น้ำมันหล่อเกิดการเหวี่ยงตัว (Hydrodynamic) ปะทะและดันแผ่นเอียงให้เอียงตัว ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นเอียงและบ่าเพลา และในขณะเดียวกันนั้นน้ำมันหล่อก็จะถูกชักเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างที่เกิดขึ้นดังกล่าว น้ำมันหล่อจะเข้าไปทำหน้าที่รับและถ่ายทอดแรงดันที่ถูกส่งมาจากเพลาใบจักร รวมทั้งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ผิวสัมผัสของแผ่นเอียง (แบริ่ง) สัมผัสกับบ่าเพลาโดยตรงอีกด้วย จากหลักการนี้จะเห็นว่า ต้องมีน้ำมันหล่อเข้าไปเป็นฟิล์มรูปลิ่มอยู่ภายในช่องว่างระหว่างแผ่นเอียงและบ่าเพลาด้วยปริมาณที่มากพอตลอดเวลาที่เพลาใบจักรหมุน (Full Film Hydrodynamic Thrust Bearing) การชำรุดของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรมักเกิดในขณะที่เพลาใบจักรหมุนรอบต่ำ สาเหตุเพราะมีน้ำมันหล่อเข้าไปทำงานไม่เพียงพอ ดังนั้น การใช้งานเพลาใบจักรที่ใช้แบริ่งกันรุนประเภทนี้ในรอบต่ำนานๆ เป็นสิ่งที่ไม่ควรทำ

2.2.1. ประเภทของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน

แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

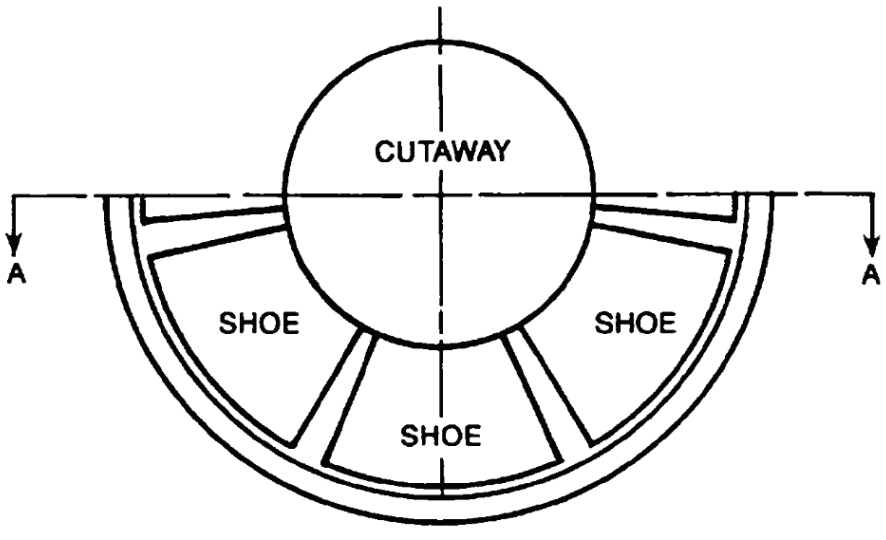
ก. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน ชนิดแผ่นเอียงทำงานได้ด้วยตัวเอง (Pivoted – Shoe, Self–Equalizing Thrust Bearing)

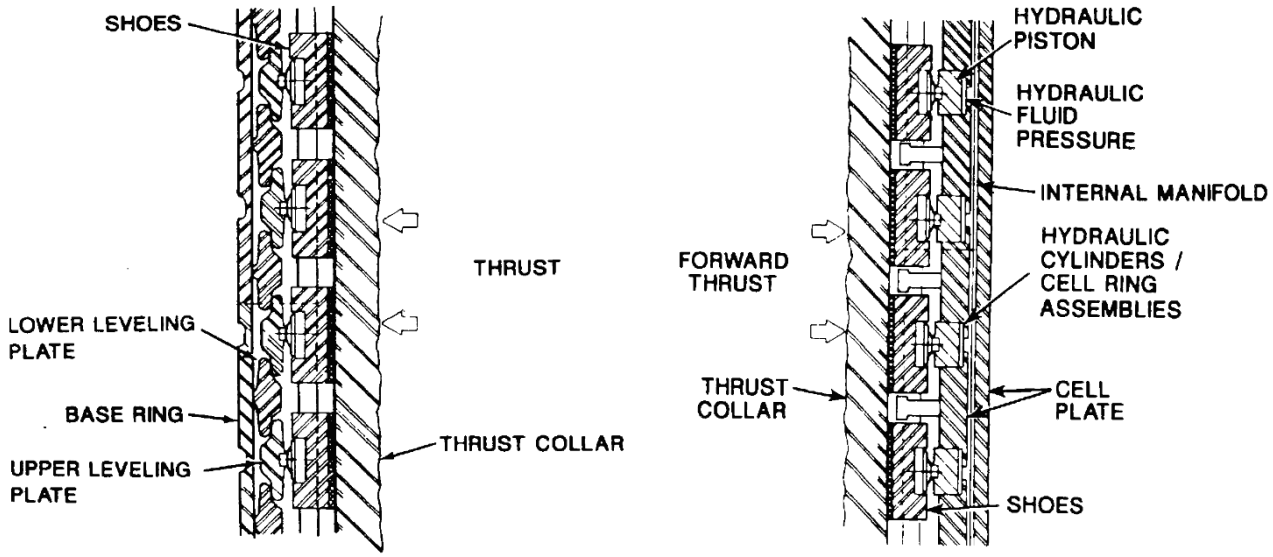
เป็นแบบที่ แผ่นเอียง (Pivoted–Shoe) ทำงานร่วมกับแผ่นปรับแรง (Leveling Plates) แผ่นเอียง/แผ่นรับแรง (Pivoted–Shoe) ที่มีการทำงาน (ปรับและรับแรงดัน) ได้ด้วยตัวเอง (Self–Equalizing) นั้น แต่ละชุดของแผ่นเอียงมีโครงสร้างอิสระแยกจากกัน จากโครงสร้างและลักษณะการทำงานร่วมกันของชุดแผ่นเอียง จะเห็นว่าการเอียงตัวของแผ่นเอียงจนเกิดช่องว่างลิ่มน้ำมันนั้น เกิดอยู่บนแผ่นปรับแรง (Leveling Plate) โดยแผ่นปรับแรง (ทั้ง Upper และ Lower Leveling Plate) ทำหน้าที่รับ ชดเชย และกระจายแรงดันที่ไม่เท่ากันจากแผ่นเอียงแต่ละชุด ก่อนที่

จะส่งถ่ายแรงดันไปให้กับวงฐาน (Base Ring) และโครงสร้างตัวเรือตามลำดับ แผ่นเอียง (Shoe Body) ทำด้วยเหล็กเคลือบผิวสัมผัสด้านรับบ่าเพลาด้วยโลหะแบริ่ง (Babbit) และด้านที่สัมผัสอยู่บนแผ่นปรับแรง (Shoe Support Disk) ทำด้วยเหล็กแข็ง (Hardened-Steel) ขณะที่เพลาใบจักรหมุน การทำงานของแผ่นเอียงจะเกิดขึ้นทั้งสองด้าน กล่าวคือ แผ่นเอียงด้านแบริงสัมผัสและรับแรงดันจากลิ่มน้ำมัน (ลิ่มน้ำมันสัมผัสและรับแรงดันจากบ่าเพลา) ส่วนการทำงานของแผ่นเอียงด้านสัมผัสอยู่บนแผ่นปรับแรงที่ช่วยทำให้เกิดช่องว่างลิ่มน้ำมันนั้น ความหนาของลิ่มน้ำมันที่เกิดขึ้น จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่กระทำกับผิวสัมผัสแบริ่งที่แผ่นเอียง (เมื่อแรงดันจากเพลาใบจักรเพิ่ม ความหนาของลิ่มน้ำมันจะเพิ่มโดยอัตโนมัติ) สำหรับการส่งถ่ายแรงดันจากลิ่มน้ำมันไปสู่แบริ่งที่แผ่นเอียงทุกชุดนั้น (ดูภาพประกอบ) แรงที่กระทำต่อแผ่นเอียงจะถูกส่งผ่านไปยังแผ่นปรับแรงบน (Upper Leveling Plate) และโดยที่ปลายของแผ่นปรับแรงบนทั้ง 2 ด้าน สัมผัสอยู่กับปลายแต่ละด้านของสองแผ่นปรับแรงล่าง (Lower Leveling Plate) ดังนั้น การสัมผัสหรือการเชื่อมต่อกันของแผ่นปรับแรงบนและล่างในลักษณะที่กล่าว ทำให้การส่งแรงดันจากแผ่นเอียงแต่ละชุดเป็นไปในลักษณะกระจายแรง ทำให้แรงที่ส่งราบเรียบ และลดปัญหาการเกิดแรงดันที่ไม่เท่ากันที่อาจเกิดขึ้นได้กับแผ่นเอียงชุดใดชุดหนึ่ง ขณะที่แรงถูกส่งมาจากเพลาใบจักร รวมทั้งแผ่นปรับแรงยังสามารถช่วยแก้การเยื้องศูนย์ (Misalignment) ระหว่างบ่าเพลาใบจักรและตัวเรือนแบริ่งอีกด้วย แต่ไม่สามารถปรับแก้เพื่อชดเชยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับบ่าเพลาได้ ถ้าการสึกนั้นเกินกว่า 0.001 นิ้ว อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้น (การเยื้องศูนย์,การสึกหรอ) จะไม่ส่งผลกระทบกับขนาดหรือการเกิดลิ่มน้ำมันใดๆ ทั้งสิ้น

ข. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน ชนิดแผ่นเอียงทำงานร่วมกับอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน (Self–Equalizing Thrust Bearing with Vibration Reducer)

แผ่นเอียง (Pivoted–Shoe) ทำงานร่วมกับสูบไฮดรอลิก (Vibration Reducer Assembly (VR)) เป็นแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรอีกลักษณะหนึ่งที่ได้มีการปรับปรุงการทำงานของแผ่นเอียง (Shoe) ให้ทำงานร่วมกับชุดอุปกรณ์ลดความสั่นสะเทือน (Vibration Reducer / VR) โครงสร้างของชุดแบริ่งที่เปลี่ยนแปลงไปคือ ได้นำเอาสูบไฮดรอลิกส์ (Hydraulically Pressurized Piston-Cylinder Assembly) มาใช้แทนแผ่นปรับแรง (Leveling Plate) และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างฐาน (Base Ring) ให้มีช่องทางเดินของน้ำมันไฮดรอลิกส์อยู่ภายใน (Internal Manifold) สำหรับเชื่อมต่อกับระบบท่อทางน้ำมันไฮดรอลิกส์ภายนอก (รายละเอียดของโครงสร้างจะได้กล่าวต่อไป) การทำงานที่สำคัญคือ แรงดันจากเพลาใบจักรที่กระทำกับแผ่นเอียงจะเกิดสภาวะสมดุลกับแรงดันของระบบน้ำมันไฮดรอลิกส์ เมื่อกำลังดันของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ท่อทางภายในหรือ Internal Manifold ที่มาดันลูกสูบไฮดรอลิกส์ แต่ละชุดมีกำลังดันเท่ากับกำลังดันในระบบท่อทางภายนอก (External Piping System) แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรระบบนี้ออกแบบเพื่อใช้งานกับเรือดำน้ำโดยเฉพาะ (ทร.ไทย มีใช้อยู่ในเรือชุด ร.ล.นเรศวร)

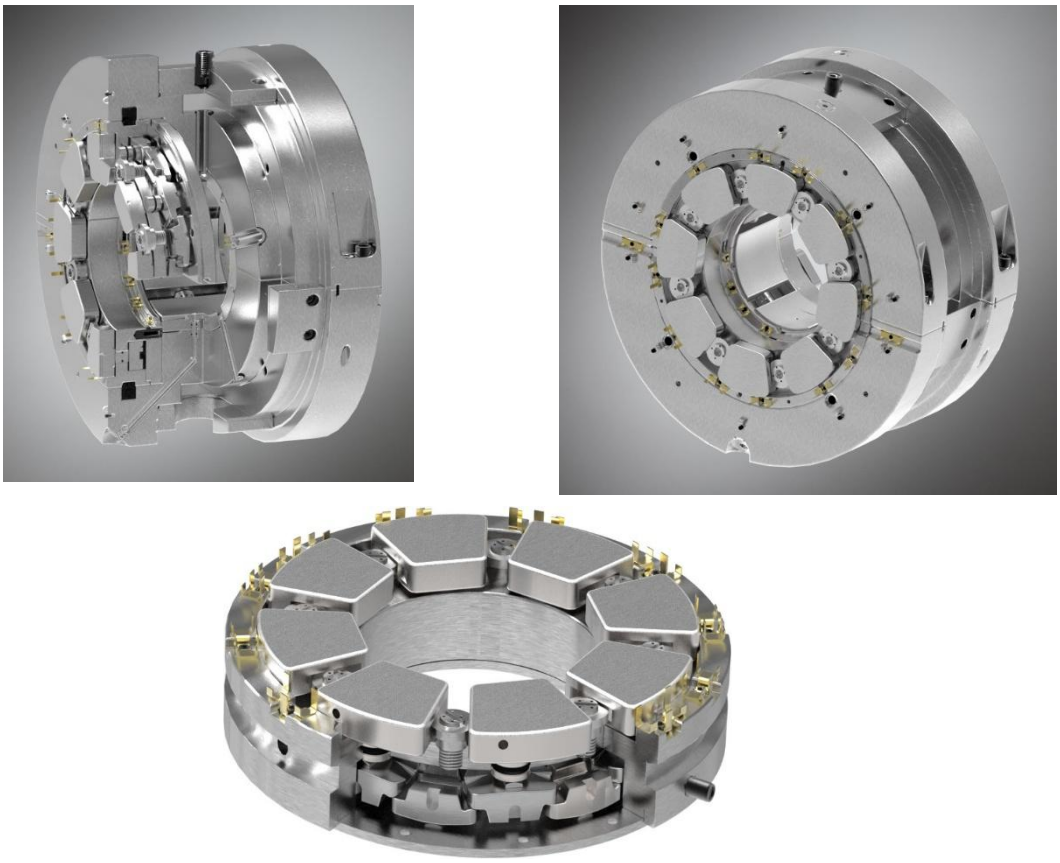




Section A - A

Pivoted – Shoe , Self – Equalizing Thrust Bearing *Pivoted – Shoe, Self – Equalizing Thrust Bearing with*

ก. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน ชนิดแผ่นเอียงทำงานได้ด้วยตัวเอง (Pivoted – Shoe, Self–Equalizing Thrust Bearing

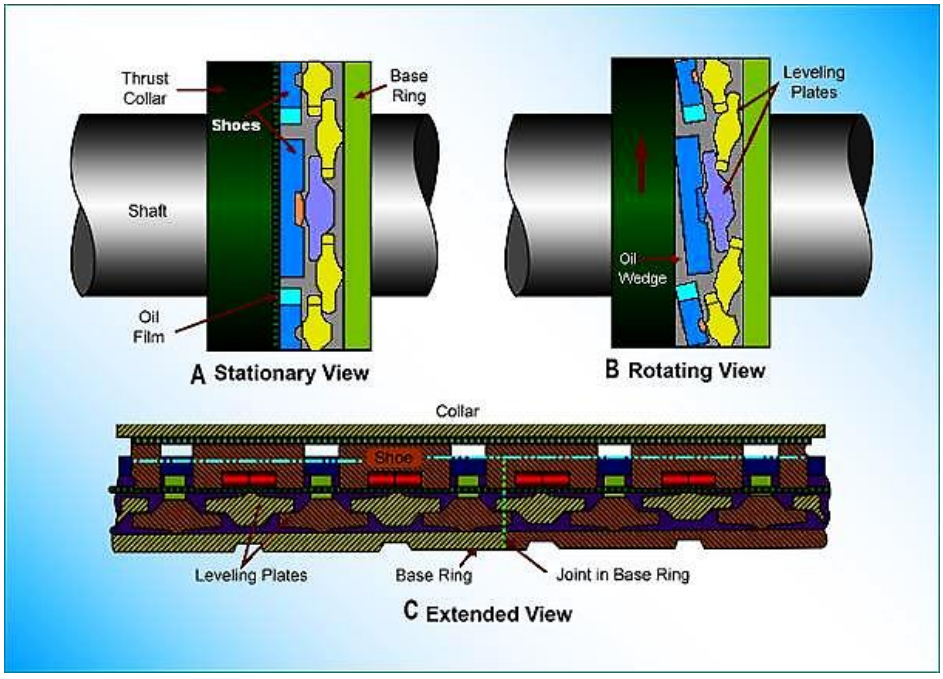


Pivoted – Shoe, Self – Equalizing Thrust Bearing

โครงสร้าง /ส่วนประกอบ

- บ่าเพลากันรุน (Thrust Collar)

เป็นส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่บนเพลาเฟืองทดรอบ (MAIN GEAR) หรือติดตั้งอยู่กับเพลากันรุน (THRUST SHAFT) ทำหน้าที่ส่งแรงดันตามแนวแกนของเพลาใบจักรให้ชุดแบริ่งกันรุน (ผ่านฟิล์มน้ำมัน)



- **แผ่นเอียง** (Thrust Shoe**)**

กล่าวคือ แผ่นเอียงสร้างด้วยเหล็ก เคลือบผิวสัมผัสด้านรับกับบ่าเพลาด้วย Babbitt ด้านที่สัมผัสอยู่บนแผ่นปรับแรง (Level Plate) ทำด้วยเหล็กแข็ง เรียกว่า “Shoe Support Disk” การทำงานของแผ่นเอียงเริ่มขึ้นเมื่อบ่าเพลาหมุน ทำให้น้ำมันหล่อหมุนและเกิดการเหวี่ยงตัว (Hydrodynamic) ปะทะกับแผ่นเอียง ดันให้แผ่นเอียงเกิดการเอียงตัว และทำให้มีช่องว่างระหว่างแผ่นเอียงกับบ่าเพลา (Thrust Collar) เกิดขึ้น ซึ่งในขณะนั้น น้ำมันหล่อก็จะถูกชักเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างกลาย เป็นฟิล์มน้ำมันที่สามารถรับแรงดันที่ถูกส่งมาตามแกนเพลาใบจักรได้

ในการส่งแรงดันเพลาใบจักรผ่าน Thrust Collar แผ่นเอียงด้านแบริ่งจะสัมผัสและรับแรงดันต่อจากลิ่มน้ำมัน ความหนาของลิ่มน้ำมันเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่กระทำกับผิวสัมผัสแบริ่งที่แผ่นเอียง ส่วนแผ่นเอียงด้านที่สัมผัสอยู่บนแผ่นปรับแรงตัวบน (Upper Leveling Plate) ช่วยทำให้เกิดช่องว่างลิ่มน้ำมันดีขึ้น ต่อจากนั้นแรงที่กระทำต่อแผ่นเอียงก็จะถูกส่งผ่านไปยังแผ่นปรับแรงตัวบน (Upper Leveling Plate)

- **แผ่นปรับแรง** (Leveling Plate)

ทำหน้าที่ปรับแรงดันที่กระทำต่อทุกชุดแผ่นเอียงให้เกิดสภาวะสมดุล แผ่นปรับแรงนี้ถูกยึดติดกับวงฐาน (Base Ring) ด้วยเดือย (Dowels) หรือสลัก โดย แผ่นปรับแรงบน (Upper Leveling Plate) วางสัมผัสอยู่กับแผ่นปรับแรงล่าง (Lower Leveling Plate) ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงดันจากแผ่นปรับแรงบนสู่แผ่นปรับแรงล่าง แผ่นปรับแรงนี้สร้างด้วย

Thrust Collar

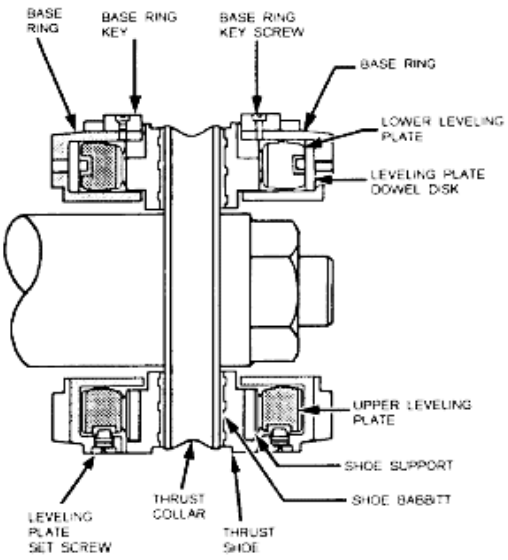
เหล็กโดยวิธีการตีขึ้นรูป (Forged Steel)

- **วงฐาน** (Base Ring)

สร้างแยกเป็น 2 ฝาด้วยเหล็ก แล้วนำมาประกบกันด้วยเดือยยึดและสกรู วงฐานประกอบติดกับตัวเรือนแบริ่งด้วยสลักยึดและร่องลิ่ม ทำหน้าที่เป็นสถานที่ติดตั้งของแผ่นปรับแรง และทำหน้าที่ในการถ่ายทอดแรงดันจากแผ่นปรับแรงดันล่างสู่โครงตัวเรือนแบริ่ง

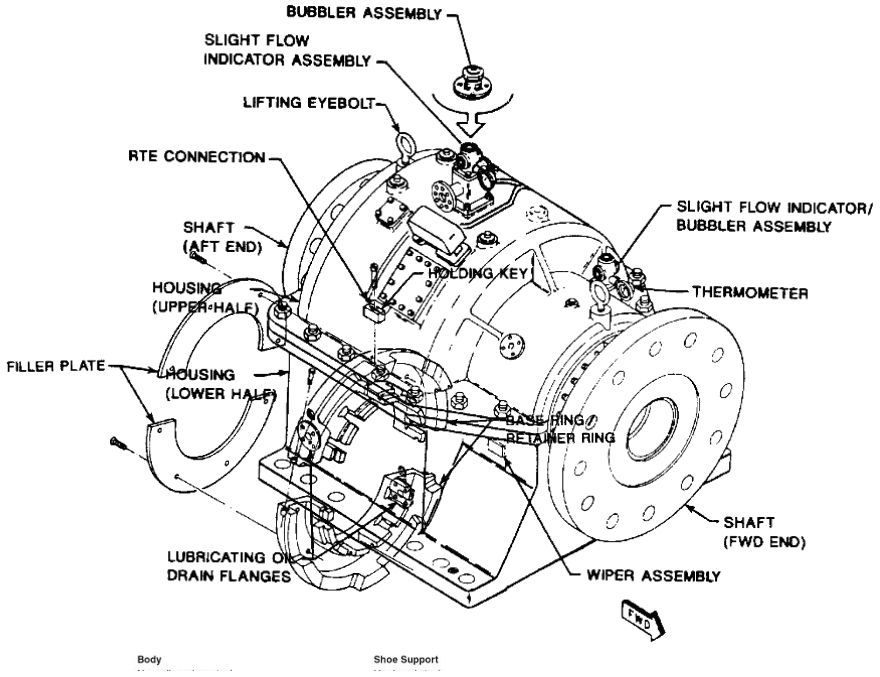
- **แผ่นรอง** (Shim หรือ Filler Plate)

ติดตั้งและทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงดันอยู่ระหว่างวงฐานและตัวเรือนแบริ่ง ความหนาของแผ่นรองสามารถปรับแต่งได้เพื่อให้เกิดระยะที่เหมาะสมกับการทำงานของชุดแบริ่ง ระยะที่เหมาะสมหมายถึง ระยะการเลื่อนของเพลาใบจักรที่เกิดจากแรงผลักของใบจักรที่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังที่ลิ่มน้ำมันหล่อ และลดแรงดันกลับ (Reverse Thrust) ที่เกิดได้ชั่วขณะเมื่อเพลาใบจักรเริ่มหมุนเปลี่ยนทางให้น้อยที่สุด รวมทั้งรักษาตำแหน่งของบ่าเพลาให้ถูกต้อง



- **ตัวเรือนแบริ่ง** (Housing)

ตัวเรือนแบริ่ง ทำหน้าที่ ถ่ายทอดแรงดันจากชุดแบริ่งสู่โครงสร้างตัวเรือ เป็นตัวเรือนแบริ่งที่วางโครงสร้างตามแนวนอนแบบแยก 2 ฝา บน-ล่าง (บางแบบอาจวางในทางตั้ง) วัตถุประสงค์ของการสร้างตัวเรือนแบริ่งให้เป็นแบบ 2 ฝา เพื่อให้สามารถเปิดออกตรวจสอบและซ่อมทำชุดแบริ่งที่อยู่ภายในได้โดยง่าย ตัวเรือนแบริ่งยังเป็นสถานที่บรรจุน้ำมันหล่อที่ทำงานร่วมกับชุดแบริ่งอีกด้วย ส่วนประกอบสำคัญที่ติดตั้งอยู่บนตัวเรือนแบริ่ง เช่น หลอดแก้วดูน้ำมันหล่อลื่น ห่วงสำหรับเกี่ยวยกตัวเรือนฝาบน (Lifting Eye Bolts) เป็นต้น

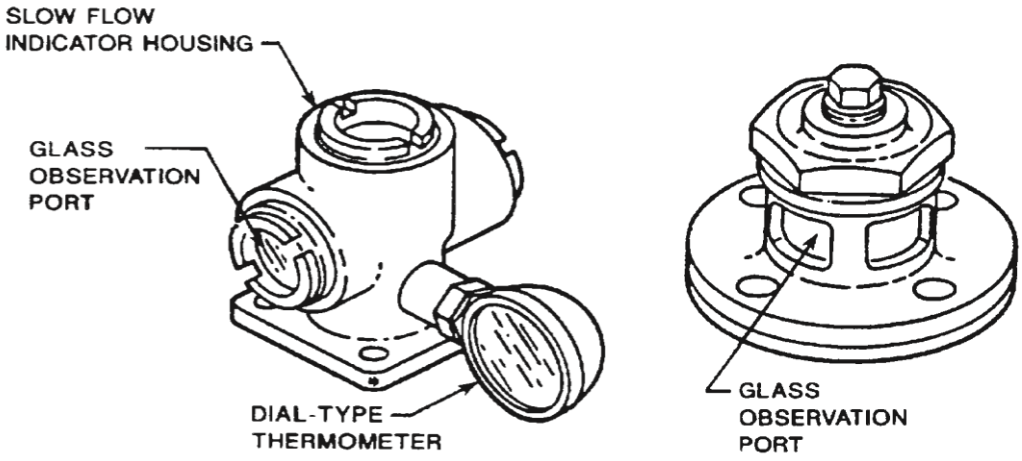


THRUST BEARING HOUSING

Pivoted – Shoe Assembly

- **หลอดแก้วดูน้ำมันหล่อลื่น** (Sight Flow Indicator หรือ Bubbler Assembly)

ติดตั้งอยู่ส่วนบนของตัวเรือนแบริ่ง สำหรับตรวจดูการไหลวนเวียนของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำงานกับชุดแบริ่งกันรุน

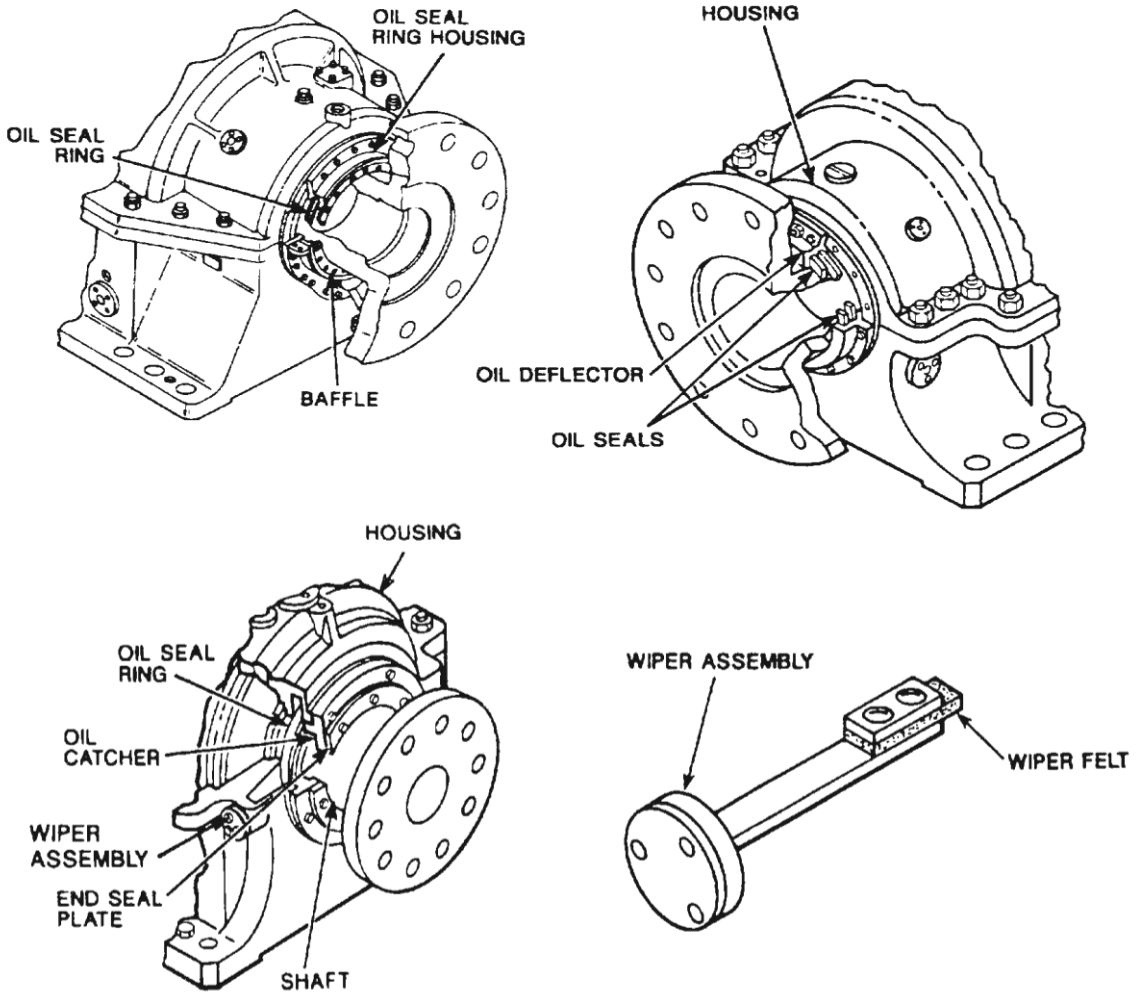


THRUST BEARING HOUSING

และแบริ่งรับเพลา (ถ้าติดตั้งรวมกัน) โครงสร้างประกอบด้วย ตัวเรือนหลอดแก้ว (Body) และช่องกระจกสำหรับตรวจ (Glass Observation Port) เป็นต้น ขณะแบริ่งทำงานต้องมีน้ำมันหล่อลื่นไหลเวียนที่หลอดแก้วตลอดเวลา

- **ซีลป้องกันรั่ว** (End Seal หรือ Shaft Seal Assembly)

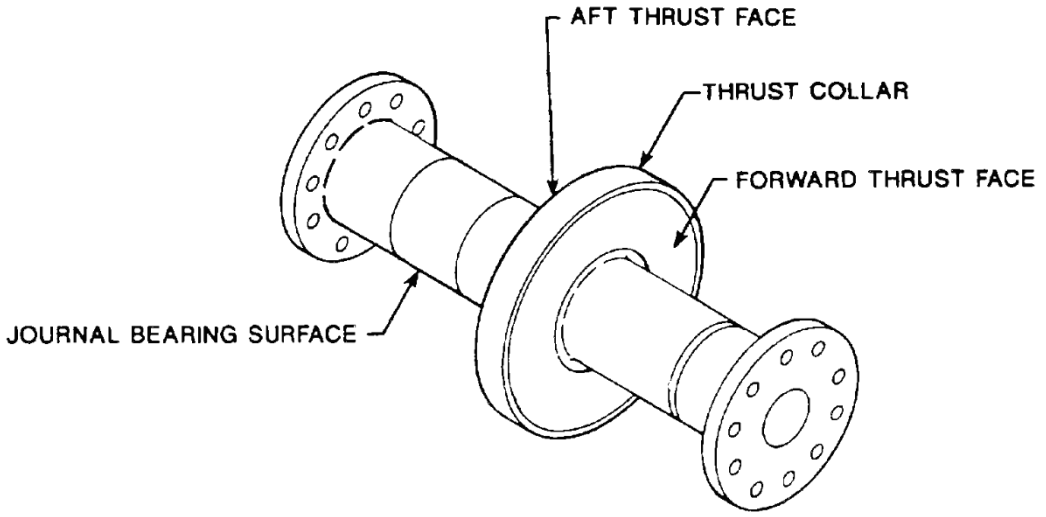
ทำหน้าที่ ป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วออกและสิ่งสกปรกเข้าไปในตัวเรือนแบริ่ง ติดตั้งอยู่ระหว่างแผ่นกั้นน้ำมัน (Oil Deflector) และผนังตัวเรือนด้านหัว – ท้าย ซีลป้องกันรั่วนี้ทำงานร่วมกับแผ่นกั้นน้ำมัน กล่าวคือ ขณะที่แบริ่งกันรุนทำงาน น้ำมันหล่อลื่นที่ตกลงบนเพลากันรุน จะถูกแผ่นกั้นน้ำมันบังคับทิศทางให้ไหลกลับลงส่วนล่างของเรือนแบริ่ง ส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่เหลือจากการทำงานของแผ่นกั้น ซีลป้องกันรั่วจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลออกไปสู่ภายนอกได้ ในเรือนแบริ่งกันรุนบางแบบอาจใช้ชุดแผ่นกวาดน้ำมัน (Wiper Assembly) ทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อที่อยู่บนเพลาให้ตกลงส่วนล่างเมื่อเพลาหมุนแทนการใช้แผ่นกั้นน้ำมัน โดยปลายของแผ่นกวาดทำด้วยวัสดุประเภทผ้าหรือสักหลาด (Felt) ซีลป้องกันรั่วที่เพลานี้ อาจเป็นซีลประเภท Labyrinth หรือ ซีลคาร์บอนพร้อมสปริงกด (carbon ring seal) หรือเป็นซีลยางพร้อมสปริงกด (Rubber Lip Seal) ก็ได้ รายละเอียดโครงสร้างของซีลป้องกันรั่วให้ศึกษาจากคู่มือเรือ



ซีลป้องกันรั่ว (End Seal หรือ Shaft Seal Assembly)

- **เพลากันรุน** (Thrust Shaft)

เพลากันรุนเป็นส่วนหนึ่งของเพลาใบจักรที่ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนแบริ่ง เป็นเพลาที่ประกอบด้วยหน้าแปลนต่อ (Shaft Flange Connection) อยู่ที่ปลายเพลาทั้ง 2 ด้าน ภายนอกตัวเรือนแบริ่ง และมีบ่าเพลา (Thrust Collar) เป็น

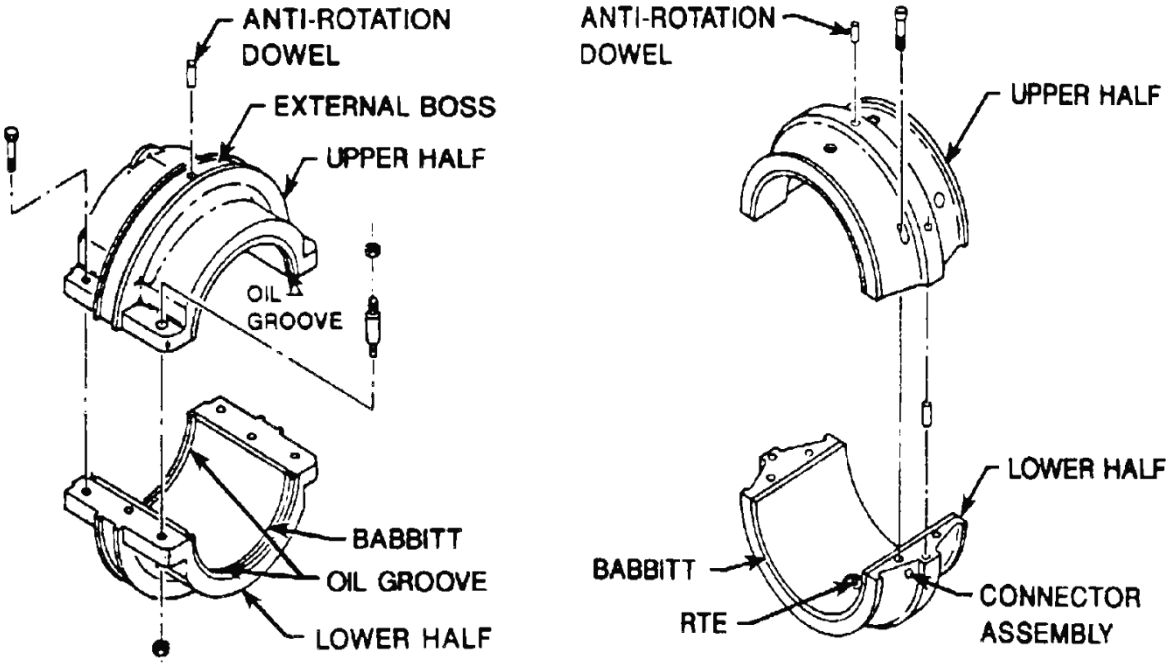


เพลากันรุน (Thrust Shaft)

ส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่ตรงกลางเพลา โครงสร้างและรายละเอียดของเพลากันรุน

- แบริ่งรับเพลากันรุน (Journal Bearing)

แบริ่งรับเพลา ทำหน้าที่ รับน้ำหนักเพลากันรุน (มีใช้เฉพาะในชุดแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบติดตั้งฐานไกลจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรเท่านั้น) ลักษณะเป็นแบริ่งแบบ 2 ฝา บน-ล่าง (Top and Bottom Halve) ประกอบยึดติดกันด้วยเดือยและนัต อาบผิวสัมผัสแบริ่งด้วย Babbit และมีเดือยขัด (Anti-Rotation Dowel) ป้องกันแบริ่งหมุนตามเพลากันรุน ประกอบติดอยู่กับแบริ่งฝาบน รวมทั้งร่องน้ำมันที่ผิวสัมผัสแบริ่ง (Oil Grooving) มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นช่องทางให้น้ำมันหล่อไหลเข้าไปเป็นแผ่นฟิล์มอยู่ระหว่างแบริ่งและเพลากันรุน



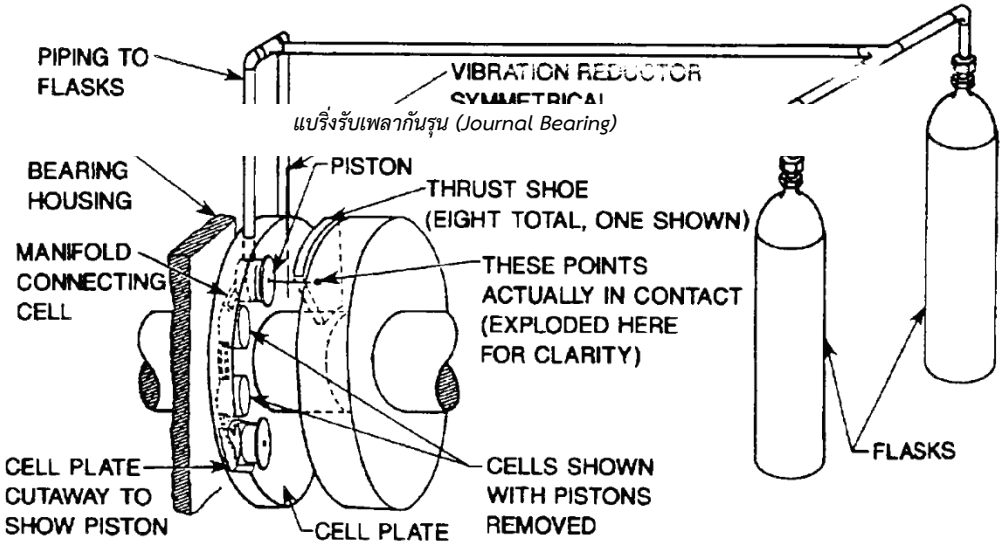
ข. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน ชนิดแผ่นเอียงทำงานร่วมกับอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน (Self–Equalizing Thrust Bearing with Vibration Reducer)

เป็นแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบกำลังดันน้ำมัน ชนิดแผ่นเอียงทำงานร่วมกับอุปกรณ์ลดความสั่นสะเทือน ประกอบด้วยชุดปรับลดแรงดัน (Vibration Reducer Assembly / VR) ทำหน้าที่รับและหน่วงแรงดัน (ที่เกิดจากแรงผลักของใบจักร) ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาและถ่ายทอดสู่โครงสร้างตัวเรือ

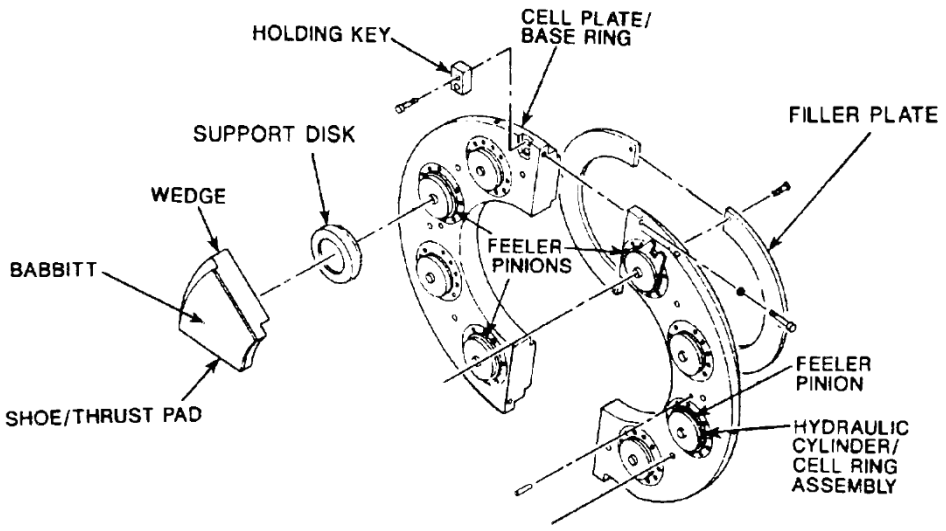
การทำงานร่วมกันของแบริ่งกันรุนชนิดนี้ คือ เมื่อแรงดันเพลาใบจักรถูกถ่ายทอดมาถึงชุด แบริ่งกันรุน (โดยส่งแรงผ่านลิ่มน้ำมัน แผ่นเอียงและสูบไฮดรอลิกของชุดปรับแรง (VR) ตามลำดับ) ซึ่งลูกสูบของชุดปรับลดแรงดันทำหน้าที่รับและถ่ายทอดแรงทั้งหมดให้กับระบบไฮดรอลิก (Piping and Flask) นอกจากนั้นยังเป็นอุปกรณ์สุดท้ายที่ทำหน้าที่เก็บแรงดันที่ส่งมาโดยเพลาใบจักรไว้ทั้งหมด

แรงดันที่กระทำบนแผ่นเอียงทุกตัวจะเท่ากับกำลังดันของลูกสูบไฮดรอลิกก็ต่อเมื่อ กำลังดันของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อทางที่กระทำต่อลูกสูบทุกตัวนั้นเท่ากันทั้งกำลังดันในท่อทางภายในช่องที่วงฐาน (Manifold Connection Cell Plate) และท่อทางภายนอก (External Piping System)

รายละเอียดที่เป็นโครงสร้างส่วนประกอบและการทำงานของชุดอุปกรณ์ลดความสั่นสะเทือนหรือชุดปรับลดแรงดันมีดังต่อไปนี้



Typical Vibration Reducer System



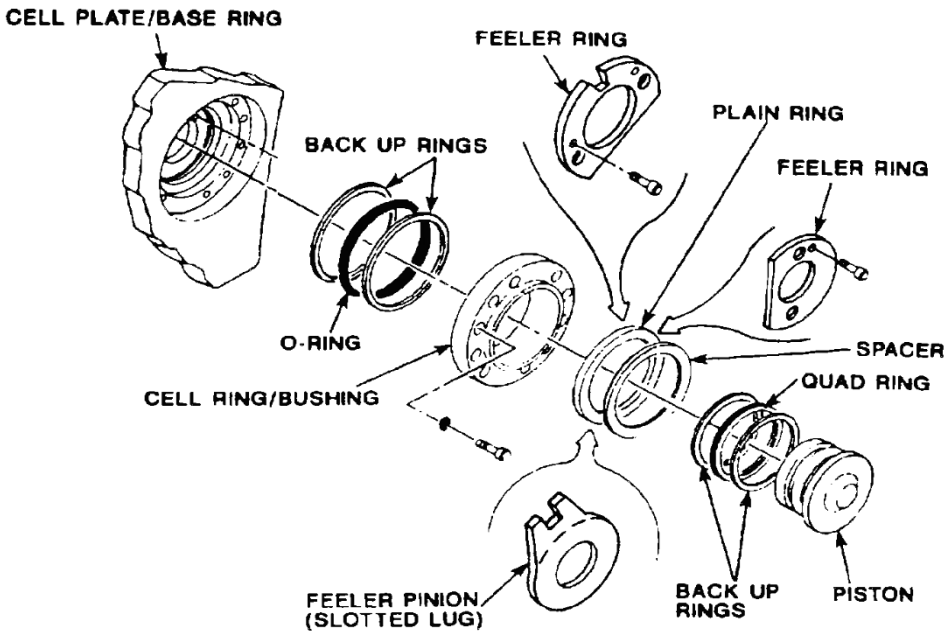
Typical Vibration Reducer Internal Components

- ชุดวงฐาน (Cell Plate Assembly)

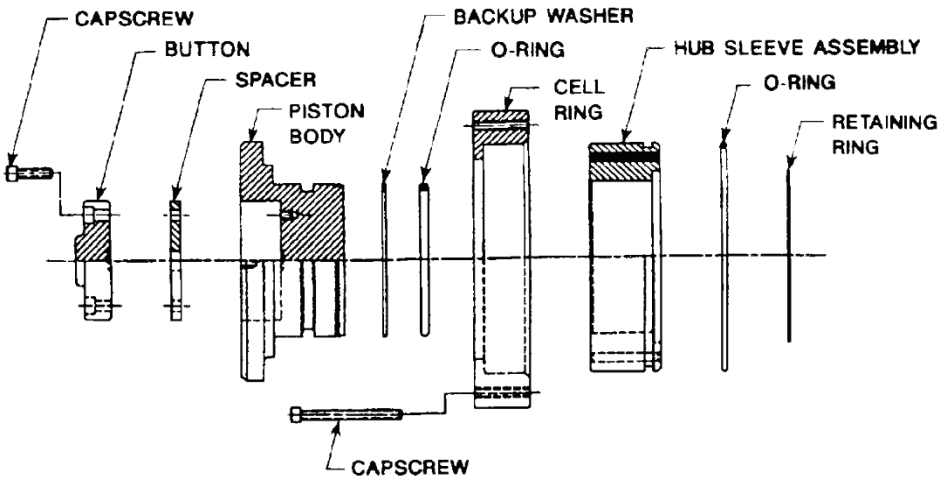
ลักษณะเป็นวงแหวน 2 ซีก ประกอบติดกันด้วยเดือยและสกรู เป็นสถานที่ติดตั้งสูบไฮดรอลิค ภายในวงฐานแต่ละซีกได้เจาะช่องทางเดินน้ำมัน (Manifold) ระหว่างกระบอกสูบไว้สำหรับจ่ายน้ำมันไฮดรอลิกเข้าไปทำงานในลูกสูบแต่ละชุด ซึ่งช่องทางเดินน้ำมันภายในชุดวงฐานนี้มีท่อทางต่อกับระบบน้ำมันไฮดรอลิกจากภายนอก

- ชุดลูกสูบไฮดรอลิก (Piston Assembly)

ลูกสูบของชุดปรับแรงดัน (VR) มี 2 แบบคือ แบบเก่า ลูกสูบทำด้วยตะกั่ว (The Quad – Ring Piston Assembly) และ แบบใหม่ ลูกสูบทำด้วยยาง (The Rubber – Bonded Piston (RBP) Assembly) จากการตรวจสอบสภาพโครงสร้างของลูกสูบทั้ง 2 แบบ พบว่าลูกสูบตะกั่วมีรอยสึกที่เกิดจากการเสียดสีเนื่องจากความฝืดขณะใช้งาน จึงได้ค้นคิดและทดลองใช้งานแบบทำด้วยยาง ปัจจุบันยังคงมีใช้ทั้ง 2 แบบ



Piston and Cell Ring Assembly



Rubber – Bonded Piston

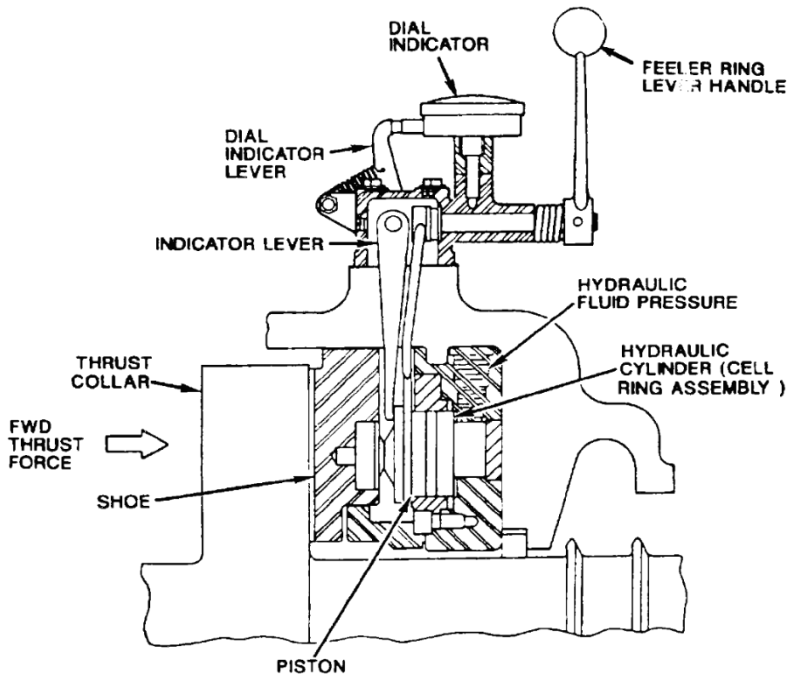
Piston Assembly

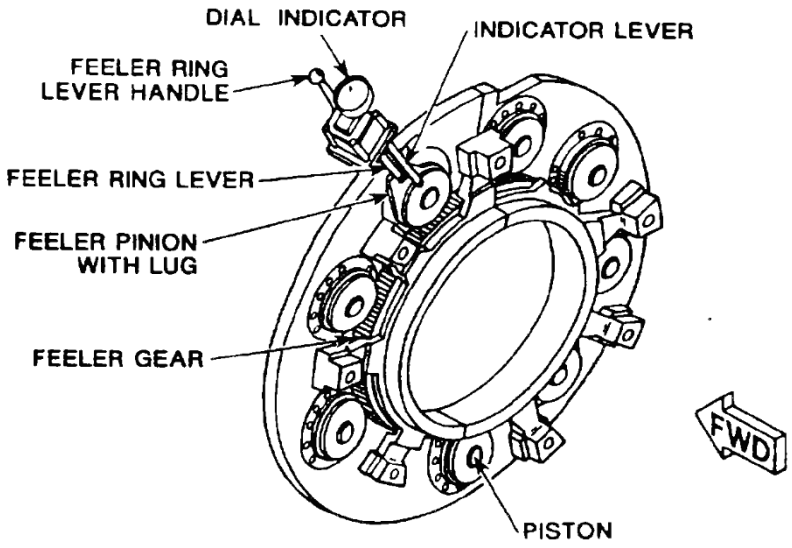
- **ชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักร** (Feeler Mechanism Assembly)

หน้าที่หลักคือ วัดและแสดงตำแหน่งศูนย์กลางหรือตำแหน่งการเลื่อนไปทางหัวหรือท้ายของบ่าเพลา (Thrust Collar) ที่เกิดจากการเลื่อนของเพลาใบจักรเมื่อเรือเปลี่ยนแปลงความเร็ว การทำงานกล่าวโดยทั่วไปของอุปกรณ์คือ การเลื่อนของเพลาใบจักรทำให้ก้านส่งอาการ (Retainer Pushrod) ของชุดวัดระยะส่งอาการไปกระตุ้นมาตรวัด (Dial Indicator) โดยที่ตัวมาตรวัดจะแสดงทั้งทิศทางและระยะการเลื่อนที่ของบ่าเพลา การตรวจสอบตามระยะเวลาและการตั้งค่า (Recalibration) เป็นสิ่งที่ต้องปฏิบัติ เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้ถูกต้อง ชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักรมี 2 แบบ ได้แก่ ชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักรแบบ Kingsbury และชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักรแบบ Waukesha Bearing ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ก. ชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักรแบบ Kingsbury

มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ เฟืองขับ (Feeler Pinion) เฟืองวัดระยะ (Feeler Gear) และคันหมุนเฟือง (Feeler Ring Lever Handle) การทำงานนอกจากมีหน้าที่หลัก คือตรวจวัดและแสดงตำแหน่งศูนย์กลางหรือตำแหน่งการเคลื่อนตัวไปทาง หัว-ท้าย ของบ่าเพลากันรุน (Thrust Collar) ที่เกิดจากการเลื่อนของเพลาใบจักรเมื่อเรือเปลี่ยนแปลงความเร็วแล้วยังมีหน้าที่รอง คือ ตรวจและแสดงการทำงานของสูบไฮดรอลิกกรณีเกิดการขัดข้อง เช่น สูบติด (Hand Up) เนื่องจากระบบน้ำมันไฮดรอลิกขัดข้องอีกด้วย การทำงานเมื่อตรวจวัดและแสดงค่ากล่าวคือ เมื่อเพลาใบจักรมีการเลื่อนตัวจะทำให้ก้านส่งอาการ (Retainer Pushrod) ส่งอาการไปกระตุ้นมาตรวัด (Dial Indicator)และมาตรวัดจะแสดงทั้งทิศทางและระยะการเคลื่อนที่เพลาใบจักร การตรวจสอบการทำงานเมื่อต้องการตรวจการทำงานของสูบไฮดรอลิกให้ทำดังนี้ เมื่อหมุนคันหมุนเฟือง ขึ้น-ลง การหมุนของคันหมุนจะทำให้เฟืองขับทำงาน โดยจะส่งอาการไปหมุนเฟืองวัดระยะ เปลี่ยนมุม (องศา) ไปเล็กน้อย ซึ่งในการหมุนคันหมุนเฟืองของอุปกรณ์วัดระยะการเลื่อนของสูบนี้ ถ้าหมุนได้ง่ายแสดงว่าลูกสูบอยู่ในสภาพที่ลอยตัวเนื่องจากมีน้ำมันไฮดรอลิกเข้ามาทำงานในชุด VR. ด้วยจำนวนที่ถูกต้อง แต่ถ้าการหมุนไม่สะดวก เช่น หมุนติดขัดและหมุนไม่ไปในที่สุด แสดงว่าในระบบไม่มีน้ำมันไฮดรอลิกเข้ามาทำงาน หรือมีกำลังดันน้ำมันตามปกติแต่ลูกสูบไม่ทำงานเพราะน้ำมันไฮดรอลิกเกิดการรั่วไหลผ่านระหว่างผิวของลูกสูบและผนังของกระบอกสูบ ซึ่งสาเหตุเกิดจากผิวลูกสูบเป็นรอยสึก เป็นต้น โดยในการตรวจสอบเมื่อหมุนคันหมุนจนเริ่มมีอาการติดขัดเกิดขึ้นแล้ว ให้ตรวจสอบที่มาตรวัด (Dial Indicator) ว่าลูกสูบเริ่มติดที่ตำแหน่งใด รวมทั้งให้ตรวจสอบน้ำมันไฮดรอลิกใน Sump ของระบบไฮดรอลิกว่าอยู่ในระดับใด ถ้าลดต่ำลงให้เปลี่ยนลูกสูบไฮดรอลิกใหม่ (ลูกสูบเป็นรอยทำให้น้ำมันไฮดรอลิกรั่วผ่านลูกสูบลงไปใน Sump เรือนแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรได้)

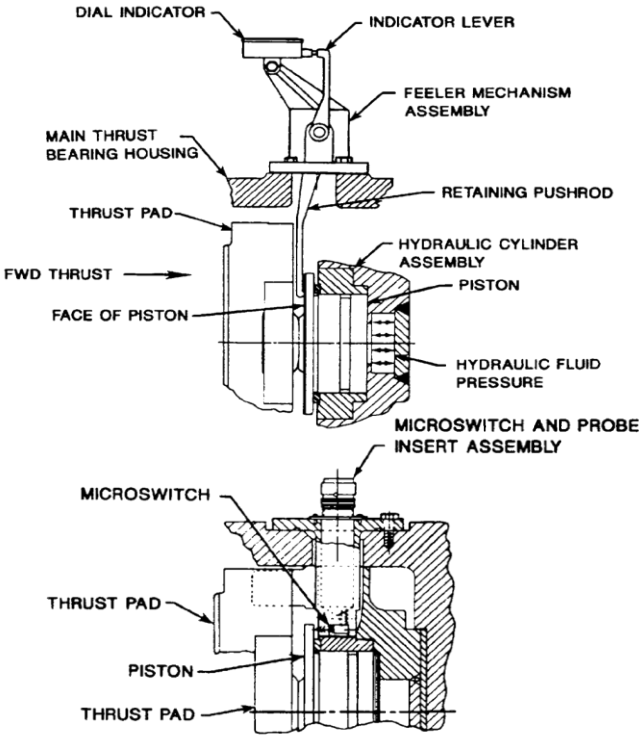




Feeler Mechanism Assembly (Kingsbury)

ข. ชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักรแบบ Waukesha Bearing

มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ Microswitch และ Probe Insert ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบการทำงานของสูบไฮดรอลิก โดยขณะใช้งานถ้ากำลังดันของน้ำมันไฮดรอลิกเพียงพอ ไมโครสวิทช์จะทำงานส่งสัญญาณทางไฟฟ้าเตือนให้ได้รับทราบสถานะภาพขณะนั้นตลอดเวลา ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าจากไมโครสวิทช์ดังกล่าวจะเป็นคนละส่วนกับสัญญาณที่แสดงตำแหน่งของเพลาใบจักร (ระบบควบคุมแบริ่งกันรุน) การไม่ทำงานของสูบไฮดรอลิกเนื่องจากลูกสูบเป็นรอยสึกยังคงมีผลเช่นเดียวกันกับแบบ Kingsbury



Feeler Mechanism Assembly with Micro switch and Probe Insert Assembly (Waukesha Bearings)

3. ระบบควบคุมแบริ่งกันรุนชุดปรับลดแรงดัน (Vibration Reducer Control)

ระบบควบคุมของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร ชนิดแผ่นเอียงทำงานร่วมกับอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน (Vibration Reduce Thrust Bearing) ทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของชุด VR (สูบไฮดรอลิก) ในการรักษาตำแหน่งของเพลาใบจักรให้อยู่ที่ศูนย์กลางตลอดเวลา มีการใช้งานอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ ระบบควบคุมด้วยไฟฟ้าและระบบควบคุมด้วยลม ไฟฟ้า (ปัจจุบัน ทร.อม.เปลี่ยนไปใช้ระบบควบคุมไฟฟ้าเกือบหมดแล้ว) การทำงานของระบบควบคุมทั้ง 2 ระบบตำแหน่งของเพลาใบจักรจะถูกตรวจสอบและแสดงระยะการเคลื่อนที่ด้วยชุดควบคุมและแสดงค่า (Control and Indicator Assembly) โดยมีแขนวัด (Feeler Arm) เป็นอุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่ไปทางหัว-ท้ายของบ่าเพลา (Thrust Collar) และสัญญาณการเคลื่อนที่ของบ่าเพลานี้ (สัญญาณกลไกล)จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า(หรือสัญญาณลม) ด้วย Micro Switch (หรือ Preumatic Control Valve) จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งไปแสดงค่าที่แผงควบคุม (Indicating Pancl) และขณะเดียวกันจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมการทำงานของ Hydraulic Control Valve ให้ทำงานใน Automatic Mode หรือ Manual

หมายเหตุ

การทำงานในระบบควบคุมที่แผงควบคุม หากเกิดปัญหาในการควบคุมระบบ ถ้าระบบควบคุมแบบ Automatic Control ไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ให้เปลี่ยนมาใช้เป็นการควบคุมแบบ Manual Control แล้วทำการแก้ไขให้สู่สภาวะปกติ แล้วกลับไปใช้งานในระบบ Automatic Control เหมือนเดิม หากการแก้ไขไม่สามารถทำได้ให้ใช้การควบคุมแบบ Manual Control แต่ต้องจำกัดความเร็วและให้อยู่ในสถานการณ์ควบคุมความเสียหายที่เกิดขึ้นตามการปฏิบัติที่ปรากฏอยู่ในคู่มือเท่านั้น (Propulsion System Guideline for Hard Up Operation)

3.1. ระบบควบคุมด้วยไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าควบคุมการทำงานของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเคลื่อนที่จากศูนย์กลางไปทาง หัว-ท้าย ของบ่าเพลากันรุนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปปรับแต่งกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิก ควบคุมตำแหน่งเพลาใบจักรให้อยู่ที่ศูนย์กลาง

มีส่วนประกอบสำคัญ / การทำงาน ดังนี้

3.1.1. แขนวัด (Feeler Arm)

เป็นอุปกรณ์วัดระยะการเลื่อนไปทาง หัว-ท้าย ของบ่าเพลากันรุน (Thrust Collar)

3.1.2. Micro Switch

ทำหน้าที่ เปลี่ยนสัญญาณการเคลื่อนที่ของบ่าเพลากันรุน (สัญญาณกลไกล) เป็นสัญญาณไฟฟ้า

3.1.3. ชุดควบคุมและแสดงค่า (Control and Indicator Assembly)

มีหน้าที่ แสดงตำแหน่งของเพลาใบจักร และถ้าเพลาไม่ได้อยู่ตำแหน่งศูนย์กลางจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมการทำงานของลิ้นควบคุมน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Control Valve) เพื่อปรับแต่งน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ VR ให้เลื่อนบ่าเพลากันรุน (Thrust Collar) กลับมาในอยู่ตำแหน่งศูนย์กลางโดยอัตโนมัติ

3.2. ระบบควบคุมด้วยลม

ระบบลมควบคุมการทำงานของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณการเคลื่อนที่ของบ่าเพลากันรุนจากศูนย์กลางไปทาง หัว-ท้าย เป็นสัญญาณลม กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของบ่าเพลาทำให้ Feeler Arm เลื่อนแล้วแสดงอาการให้ลิ้นลมควบคุม (Pneumatic Control Valve) เปลี่ยนแปลงกำลังดันลมไปควบคุม/ปรับแต่งกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิกส่งไปทำงานที่สูบไฮดรอลิก เลื่อนบ่าเพลากันรุนของเพลาใบจักรกับมาตำแหน่งศูนย์กลาง

มีส่วนประกอบ / การทำงาน ดังนี้

3.2.1. แขนวัด (Feeler Arm)

เป็นอุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่ไปทางหัว - ท้าย ของบ่าเพลากันรุน (Thrust Collar)

3.2.2. ชุดลิ้นลมควบคุม (Pneumatic Control Valve)

ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณการเคลื่อนที่ของบ่าเพลากันรุน (สัญญาณกลไกล) เป็นสัญญาณลม

3.2.3. ลิ้นควบคุมระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Control Valve)

ทำหน้าที่ ปรับแต่งน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ VR. เลื่อนบ่าเพลากันรุนกลับมาในอยู่ตำแหน่งศูนย์กลางโดยอัตโนมัติ

3.3. การใช้งานแบบ Manual หรือ Manual Override Operationวัตถุประสงค์ เพื่อส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปทำงานที่ลูกสูบ VR เพื่อเลื่อนเพลาใบจักรให้กลับมาอยู่ในตำแหน่งศูนย์กลาง หรือ ตำแหน่งใช้งานปกติ โดยใช้ลิ้นน้ำมัน (Supply and Return Valve) ควบคุมการทำงาน (ตรวจสอบตำแหน่งของเพลากันรุนด้วยเกจวัด/Dial Indicator)

ตัวอย่างการปฏิบัติในการควบคุม

ในการปฏิบัติดังกล่าว คือ เมื่อต้องการให้บ่าเพลากันรุนเคลื่อนที่ไปด้านหน้า (กรณีเพลาใบจักรเคลื่อนที่จากศูนย์กลาง ไปอยู่ด้านท้าย) ให้เพิ่มกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิกในชุด VR โดยเปิดลิ้นจ่ายน้ำมันจากระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Supply Valve) เมื่อบ่าเพลาเคลื่อนกับมาอยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางให้เปิดลิ้นจ่าย แต่ถ้าต้องการให้บ่าเพลากันรุนเคลื่อนที่ไปทางท้าย (กรณีตำแหน่งเพลาใบจักรเคลื่อนที่จากศูนย์กลางไปตำแหน่งด้านหน้า) ให้ลดกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิกในชุด VR โดยเปิดลิ้นน้ำมันกลับ (Hydraulic Return Valve) เมื่อเพลาเคลื่อนที่กลับมาอยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางให้ปิดลิ้น

ส่วนควบคุมการทำงานในกรณีฉุกเฉินนั้น ให้ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานหรือเอกสารประจำเรือเท่านั้น

3.4. การปรับแต่งการทำงานของชุด VR (Vibration Reducer Control System Calibration)

เป็นการปรับแต่งภายหลังเมื่อมีการซ่อมทำคืนสภาพ แบริ่งกันรุนหรือชุด VR หรือ เมื่อต้องการปรับแต่งให้ระบบทำงานอย่างถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ภายหลังที่ได้มีการตรวจสอบและแน่ใจว่าการปรับแต่งไว้ครั้งสุดท้ายระบบยังทำงานไม่สมบูรณ์ การตั้งค่าการทำงานของระบบควบคุมของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรด้วยวิธีวัดระยะเลื่อนของเพลาใบจักร รวมทั้งการตั้งค่าของชุดวัดระยะเลื่อนเพลาใบจักร (dial indicator) และระบบสัญญาณเตือน (indicating system) ให้ปฏิบัติได้ตามคู่มือเรือเท่านั้น

4. การติดตั้งแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรของเรือผิวน้ำ (Surface Ship Main Propulsion Thrust Bearing)

ระบบเพลาใบจักรของเรือประเภทผิวน้ำ ปกติใช้แบริ่งกันรุนแบบกำลังดันน้ำมันชนิดแผ่นเอียงทำงานได้ด้วยตัวเอง (Pivoted – Shoe , Self - Equalizing Thrust Bearing) แรงดันจากเพลาใบจักรถูกถ่ายทอดลงสู่ชุดแบริ่ง ตัวเรือนแบริ่งกันรุน และโครงสร้างตัวเรือตามลำดับ รูปแบบการติดตั้งของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรเรือประเภทเรือผิวน้ำมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.1. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบติดตั้งร่วมฐานกับหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (Integral Mount Thrust Bearing)

เป็นแบบที่ใช้งานโดยทั่วไป มีโครงสร้างที่สำคัญ กล่าวคือ ตัวเรือนฝาบนของแบริ่งกันรุนได้สร้างแยกออกจากตัวเรือนฝาบนของตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเปิดซ่อมทำได้สะดวก ส่วนตัวเรือนแบริ่งกันรุนและตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรฝาล่างใช้ฐานร่วมกัน

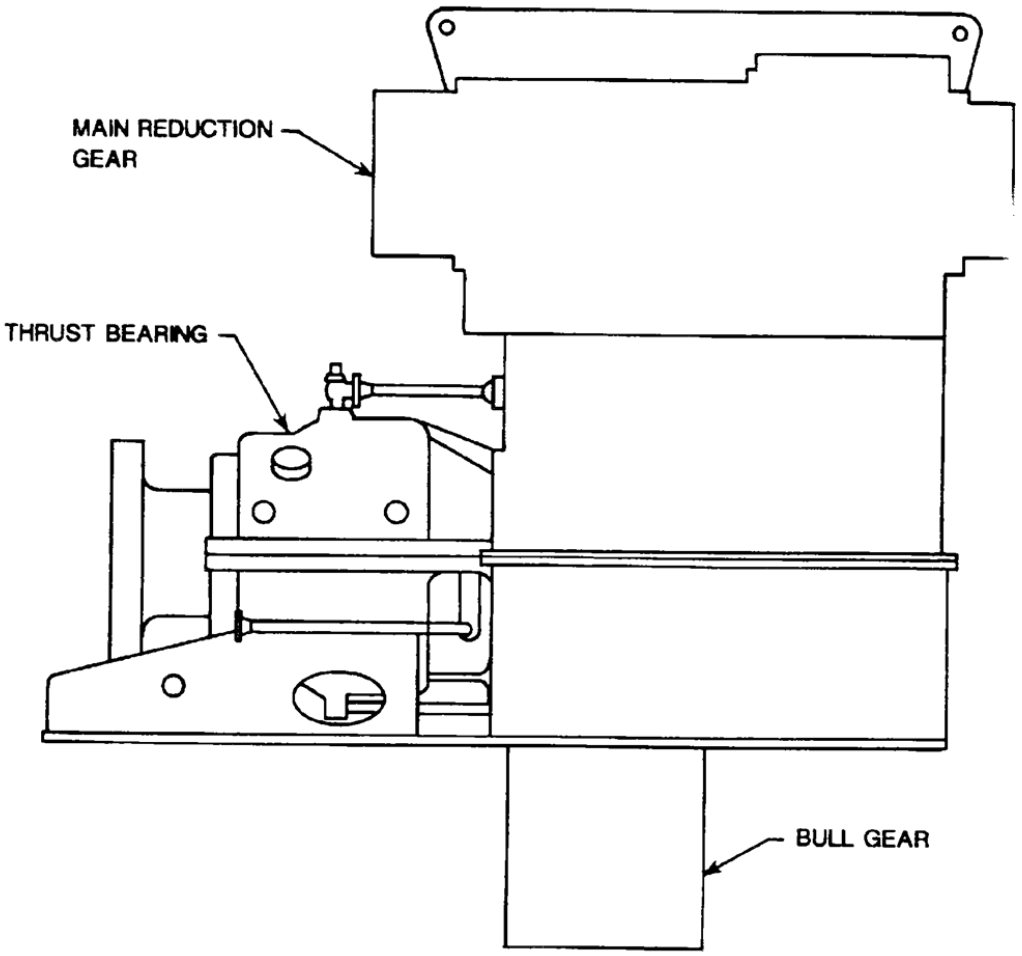
บ่าเพลา (Thrust Collar) ติดตั้งอยู่ที่เพลาของเฟืองทดรอบ (Bull Gear Shaft) และใช้น้ำมันหล่อร่วมกับระบบน้ำมันของหมู่เฟืองทดรอบ แรงดันจากเพลาใบจักรถูกถ่ายถอดโดยตรงจากแบริ่งกันรุนผ่านตัวเรือนหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรสู่โครงสร้างตัวเรือ

4.2. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบติดตั้งฐานใกล้หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (ADJ Accent Mount Thrust Bearing)

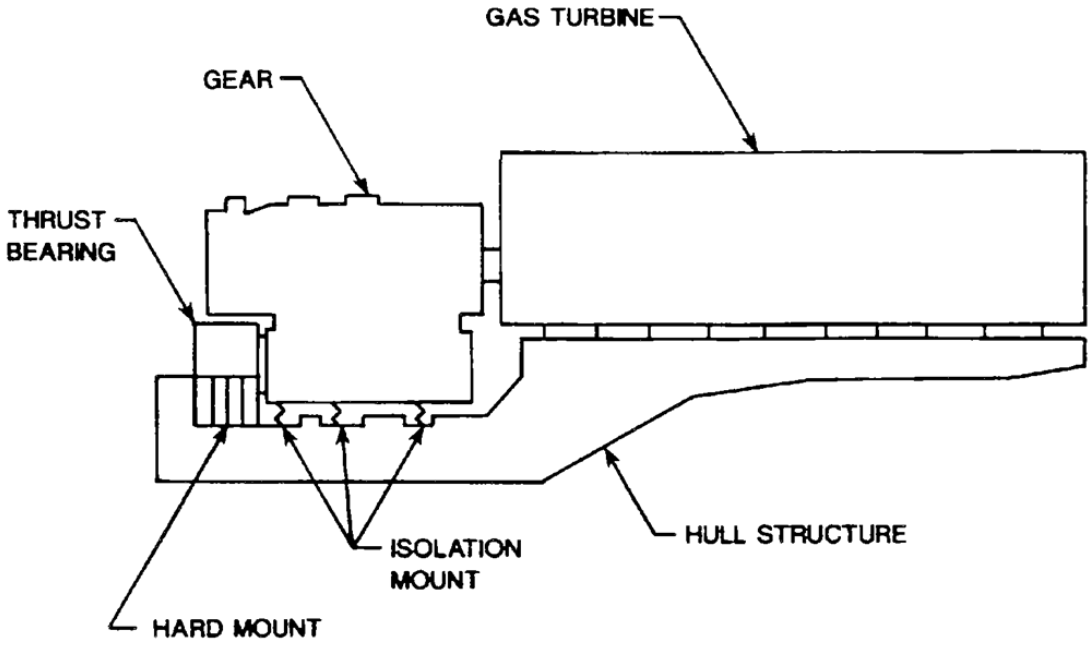
ตัวเรือนแบริ่งได้สร้างไว้ท้ายหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร โดยมีฐานแยกจากกัน (Hard Mount) แต่บ่าเพลา (Thrust Collar) ยังคงติดตั้งไว้ที่เพลาของเฟืองทดรอบ (Bull Gear Shaft) และใช้น้ำมันหล่อร่วมกับระบบน้ำมันของหมู่เฟืองทดรอบ การถ่ายทอดกำลังดันจากเพลาใบจักรสู่โครงสร้างตัวเรือผ่านเฉพาะฐานของตัวเรือนแบริ่งกันรุนเท่านั้น

4.3. แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรแบบติดตั้งฐานไกลจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (Remote Mount Thrust Bearing)

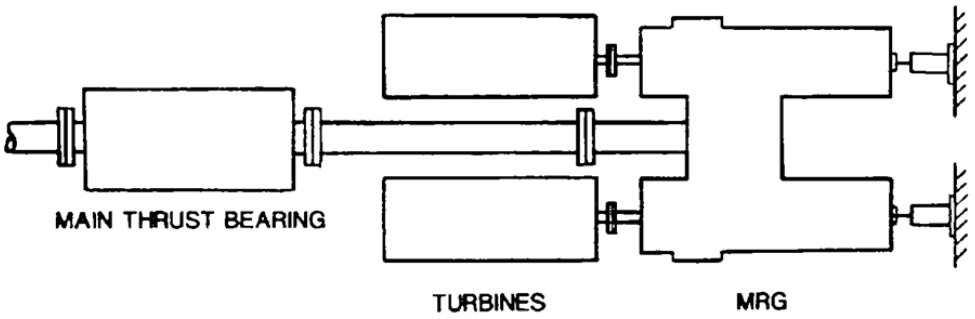
การติดตั้งแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (MRG) และเครื่องจักรใหญ่ (Turbine) ซึ่งชุดแบริ่งกันรุนที่ติดตั้งในลักษณะนี้ มีโครงสร้างแตกต่างจากสองแบบแรก คือ ต้องมีแบริ่งรับเพลา (Journal Bearing) อยู่ภายในตัวเรือนแบริ่ง และต้องใช้เพลากันรุนและบ่าเพลาที่มีลักษณะโครงสร้างเฉพาะแบบ และมีระบบน้ำมันหล่อลื่นแยกโดยเฉพาะ (แบริ่งกันรุนสองแบบแรกใช้น้ำมันหล่อลื่นร่วมกับหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร)

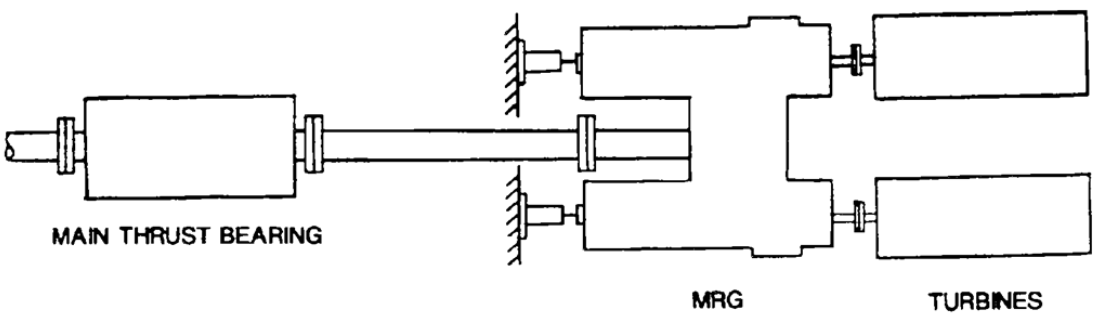


Surface Ship Integral Mount Thrust Bearing Arrangement



Surface Ship Adjacent Mount Thrust Bearing Arrangement





5.ระบบน้ำมันหล่อลื่น (Lubrication System)

5.1. ประเภทของระบบหล่อลื่น (Type of Lubrication System)

แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร รับน้ำมันหล่อลื่นจากระบบภายนอกเข้ามาทำงาน กล่าวคือ แบริ่งกันรุนที่ติดตั้งอยู่รวมฐานกับหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีท่อ รับ - ส่ง มาจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร ส่วนแบริ่งกันรุนที่ติดตั้งแยกฐานจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร อาจใช้น้ำมันหล่อลื่นจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร หรือ มีระบบน้ำมันหล่อลื่นภายในตัวเรือนแบริ่ง (Self Contained) แบบกำลังดัน (Pressure Lubrication System) เรียกว่าระบบน้ำมันหล่อลื่นภายในก็ได้ แต่ในบางกรณี เช่น แบริ่งกันรุนเพลาใบจักรที่ติดตั้งแยกฐานจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรและติดตั้งไกล อาจมีระบบน้ำมันหล่อลื่นแยกโดยเฉพาะ

5.2. โครงสร้าง/ส่วนประกอบของระบบน้ำมันหล่อลื่นภายนอก

ประกอบด้วยปั๊มและท่อทาง จ่ายน้ำมันหล่อลื่นภายใต้กำลังดันส่งเข้าไปภายในตัวเรือนแบริ่ง มีการควบคุมอุณหภูมิด้วยคูลเลอร์ระบายความร้อน ที่ติดตั้งรวมอยู่ในระบบ

รายละเอียดของการจ่ายน้ำมันหล่อลื่นเข้าสู่ตัวเรือนแบริ่งและการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น ดังนี้

แบริ่งกันรุนเพลาใบจักร ติดตั้งแยกฐานไกลจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักรที่รับน้ำมันหล่อลื่นจากภายนอก การส่งน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในตัวเรือนแบริ่งด้วย 3 ท่อทาง คือ ท่อทางที่ 1 ส่งเข้าไปทำงานชุดแบริ่งกันรุนเดินหน้า ท่อทางที่ 2 ส่งเข้าไปทำงานชุดแบริ่งกันรุนถอยหลัง และท่อทางที่ 3 ส่งเข้าไปทำงานที่แบริ่งรับเพลากันรุน

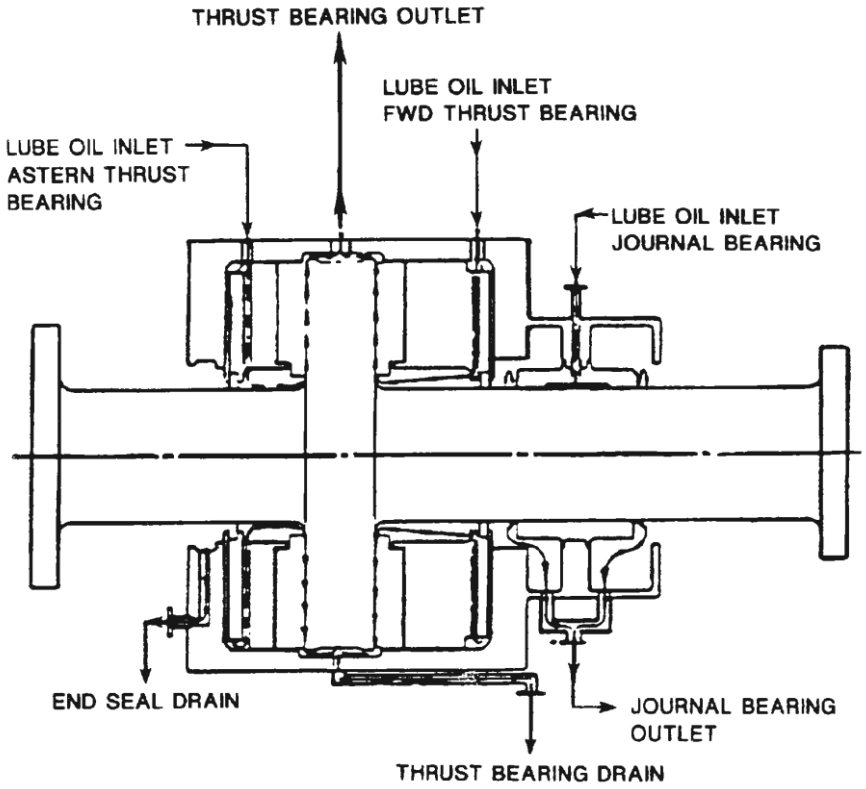
สำหรับแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรที่รับน้ำมันหล่อลื่นจากหมู่เฟืองทดรอบโดยท่อทางนั้น น้ำมันหล่อลื่นจะเข้าไปภายในเรือนแบริ่งได้จากท่อทางด้านหลัง โดยน้ำมันหล่อลื่นจะเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างรอบๆ วงฐาน และจากรอบๆ วงฐานน้ำมันหล่อลื่นจะไหลผ่านช่องทางออกไปด้านหลังของวงฐานสู่เพลากันรุน หลังจากนั้นน้ำมันหล่อลื่นจะไหลตาม

Surface Ship Remote Mount Thrust Bearing Arrangement

ช่องว่างระหว่างเพลากันรุนและวงฐานไปที่บ่าเพลากันรุน แรงดันที่เกิดจากการหมุนของบ่าเพลากันรุนจะส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดการหมุนตัวแทรกเข้าไปในช่องระหว่างแผ่นเอียงและบ่าเพลากันรุน เกิดเป็นลิ่มน้ำมันรับภาระ (แรงดัน) จากเพลาใบจักร ต่อจากนั้นน้ำมันหล่อลื่นจะถูกเหวี่ยงออกไปที่บริเวณปลายของแผ่นเอียง และเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างปลายบ่าเพลากันรุนและผนังตัวเรือนแบริ่ง แล้วไหลผ่านช่องที่ผนังตัวเรือนแบริ่งด้านบนกลับไปเข้าท่อทางส่งน้ำมันหล่อลื่นกลับไปยังหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร (มีน้ำมันหล่อลื่นจากตัวเรือนแบริ่งด้านบนบางส่วนถูกส่งผ่านช่องทางภายในฝาปิดเรือนแบริ่งด้านบนไปเข้าหลอดแก้วดูน้ำมัน เมื่อออกจากหลอดแก้วแล้ว น้ำมันหล่อลื่นจะถูกส่งไปรวมกับน้ำมันหล่อที่ทางส่งกลับ)

5.3. มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น

มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานกับแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรของเรือแต่ละประเภท และข้อมูลที่เป็นเกณฑ์การใช้งาน เช่น ค่ากำลังดันและอุณหภูมิต่างๆ ให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ



แสดงการส่งน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในตัวเรือนแบริ่งกันรุน ชนิดติดตั้งแยกฐานไกลจากหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร

6. การใช้งานแบริงกันรุนเพลาใบจักร(main Propulsion Thrust Bearing Operation)

ข้อควรระวัง
อุณหภูมิแบริ่ง (BABBITT) ไม่ควรเกิน 250 องศา F. และ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นไม่ควรเกิน 180 องศา F

การใช้งานแบริงกันรุนเพลาใบจักร มีการตรวจสอบทั้งก่อนการใช้งาน ระหว่างการใช้งาน และการตรวจสอบตามระยะเวลาซึ่งควรได้มีการปฏิบัติดังต่อไปนี้

6.1. การตรวจสอบก่อนการใช้งาน (Pre Operation check)

การปฏิบัติต่อไปนี้เป็นการตรวจสอบแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรและส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง

1. นำน้ำมันหล่อลื่นตัวอย่างไปตรวจสิ่งปนเปื้อนประเภทของแข็งและน้ำ
2. ตรวจสอบการรั่วไหลตามระบบท่อทาง ลิ้น และการชำรุดบริเวณข้อต่อของท่อทางระบบน้ำมันหล่อลื่น
3. ตรวจสอบอุปกรณ์วัดระยะ (Feeler) ของชุด VR ให้มีการเคลื่อนตัวได้ไม่ติดขัด
4. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าระบบท่อทางไฮดรอลิกของชุด VR พร้อมใช้งาน
5. ตรวจระดับน้ำมันไฮดรอลิกในถังพัก เติมให้อยู่ในระดับที่ถูกต้อง
6. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าลิ้นในระบบท่อทางของ VR อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ปฏิบัติตามคู่มือ

7. แบริ่งกันรุนที่ติดตั้งร่วมฐานและใช้น้ำมันหล่อลื่นจากหมู่เฟืองทดรอบ ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนการเดินเครื่อง ตรวจสอบการไหลเวียนของน้ำมันหล่อลื่นที่หลอดแก้ว (ถ้ามี) ตรวจสอบและบันทึกกำลังดันและอุณหภูมิลงในปูมให้เรียบร้อย

8. แบริ่งกันรุนที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นแยกเฉพาะ (Self-Contain System) ให้ทำการตรวจระดับและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ต้องเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ถ้าตรวจพบว่าสกปรก

6.2 . การตรวจสอบแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรขณะใช้งานตามระยะเวลา ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิแบริ่ง(RTE BABBITT)
2. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในระบบท่อทางและทางส่ง
3. กำลังดันน้ำมันหล่อลื่นในระบบท่อทาง
4. การไหลเวียนน้ำมันหล่อลื่นในหลอดแก้ว
5. ตำแหน่งของบ่าเพลากันรุน (THRUST COLLAR) (ถ้าติดตั้ง)

6.3. อุณหภูมิแบริ่ง (Bearing Temperature)

อุณหภูมิเป็นเสมือนบรรทัดวัด ที่จะบ่งบอกให้เจ้าหน้าที่หรือยามรู้ถึงสภาพการทำงานของแบริ่งแต่ละตัว ดังนั้นผู้ปฏิบัติหน้าที่เป็นยามควรตรวจสอบและจดบันทึกอุณหภูมิตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อเป็นข้อมูลไว้สำหรับตรวจสอบหาสาเหตุการขัดข้องของแบริ่งที่เกิดจากความร้อนสูงเกินเกณฑ์ (Overheat) รวมทั้งเป็นแนวทางในการแก้ไขซ่อมทำอย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป ทั้งนี้ พึงจดจำไว้ว่า “อุณหภูมิของแบริ่งจะต้องเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบและภาระที่เพิ่มเสมอ “

6.3.1. แบริ่งอุณหภูมิสูง (High Bearing Temperature)

แบริ่งอุณหภูมิสูงและเกณฑ์ยอมรับจะได้กล่าวต่อไปแต่ถ้าแบริ่งมีอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ขณะที่ใช้งานตามปกติ ให้ทำการตรวจสอบกำลังดันน้ำมันหล่อลื่นในระบบ และตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ออกจากคูลเลอร์ รวมทั้งตรวจให้แน่ใจว่าคูลเลอร์ระบายความร้อนน้ำมันหล่อลื่นทำงานถูกต้อง แต่ถ้าตรวจหาสาเหตุไม่พบ ให้ทำการลดรอบเพลาใบจักรหรือหยุดการใช้งาน ตรวจหาสาเหตุอื่นๆ ต่อไป

6.3.2. การใช้งานปกติ (Normal Operation)

อุณหภูมิที่อยู่ในเกณฑ์ปกติของแบริ่งกันรุน จะเปลี่ยนแปลงตามสภาพการใช้งานเพลาใบจักร ต้องแน่ใจว่าแบริ่งทำงานปกติในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเร็วที่เปลี่ยนแปลง ต้องควบคุมอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่จ่ายไปยังเรือนแบริ่งให้อยู่ระหว่าง 120-130 องศา F ตลอดเวลาใช้งาน (หรือตามคู่มือกำหนด)

6.3.3. การเปลี่ยนแปลงแรงดันตามแนวแกนของเพลา (Thrust Variation)

อุณหภูมิแบริ่งกันรุน สามารถที่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างผิดปกติเกิดขึ้นได้ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแรงดันตามแนวแกนที่เพิ่มขึ้นมารวมอยู่ด้วย (ตัวอย่างเช่น แรงดันตามแนวแกนที่เกิดจาก High - Speed Flexible coupling ของหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร)

6.3.4. การวัดอุณหภูมิแบริ่ง (Temperature Measurement)

การตรวจสอบอุณหภูมิแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร ปฏิบัติได้ 2 วิธี ซึ่งมีเกณฑ์อุณหภูมิใช้งานต่างกัน คือ ตรวจวัดจากอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นด้วยเทอร์โมมิเตอร์ และตรวจวัดจากผิวสัมผัสของแบริ่ง (Babbitt) ด้วย RTE โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดต้องไม่เกิน 180 องศา F และอุณหภูมิแบริ่งต้องไม่เกิน 250 องศา F ทั้งแบริ่งกันรุนและแบริ่งรับเพลาใบจักร

6.3.5. ระบบตรวจสอบอุณหภูมิแบริ่ง RTE (Resistance Temperature Element System)

เป็นระบบการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยไฟฟ้า และส่งค่าไปแสดงผลที่ห้องควบคุม ระบบจะแสดงสัญญาณเตือน (เสียง) เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ 20 องศา F

6.4. การปฏิบัติในการตั้งค่าสัญญาณเตือนอันตราย

เมื่ออุณหภูมิแบริ่งหรือน้ำมันหล่อลื่นสูงของระบบหรือเครื่องมือตรวจวัดและแสดงค่า ให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเท่านั้น การตั้งค่าตัวอันตรายสูงสุดที่ผิดไปจากค่าที่คู่มือกำหนดไว้ ต้องได้รับอนุญาตจากกองเรือต้นสังกัดและต้องให้ช่างเทคนิคหรือผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบก่อนการใช้งานจริง

6.5. การติดตั้งอุปกรณ์ระบบ RTE

ในการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ RTE ตรวจสอบการทำงานของแบริ่ง มักจะต้องมีเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่น (เทอร์โมมิเตอร์) ติดตั้งไว้ที่ตัวเรือนของแบริ่งแต่ละตัวรวมอยู่ด้วย ทั้งนี้เพื่อการเปรียบเทียบค่า ซึ่งในกรณีที่อุณหภูมิที่ตรวจสอบได้จากเครื่องวัดทั้ง 2 ชนิดไม่ตรงกัน ให้ตรวจสอบค่าที่แท้จริงได้จากคู่มือหรือจากการบันทึกไว้ในปูมครั้งสุดท้าย

6.6. ข้อดีของระบบ RTE (ระบบการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยไฟฟ้า)

คือ มีการตอบสนองเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วกว่าการทำงานของเทอร์โมมิเตอร์ และมีอุปกรณ์ส่งสัญญาณเตือนเมื่อมีเหตุการณ์อุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ อย่างไรก็ตาม แบริ่งทุกตัวที่ติดตั้งระบบวัดอุณหภูมิ RTE หรือเทอร์โมมิเตอร์ ถ้าเครื่องวัดแสดงค่าอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องภายหลังที่เรือเพิ่มความเร็วได้ตามต้องการแล้ว แสดงว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นต้องตรวจสอบหาสาเหตุและดำเนินการควบคุมความเสียหายด้วยวิธีลดรอบความเร็วเพลาใบจักร เพื่อป้องกันแบริ่งชำรุดเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์

7. การซ่อมบำรุง (Maintenance)

ข้อระมัดระวังอันตราย

ตรวจสอบให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ใช้ถูกต้องตรงตามคู่มือ/Drawing การนำชิ้นส่วนหรืออะไหล่ไม่ถูกต้องมาใช้ในการซ่อมทำ/เปลี่ยนแทนของเดิมที่ชำรุดเป็นสาเหตุทำให้แบริ่งกันรุนและส่วนประกอบชำรุดเสียหายเร็วกว่ากำหนด

7.1. การซ่อมบำรุงระดับเรือ (Shipboard Maintenance)

การซ่อมบำรุงระดับเรือ ได้แก่ การปรับแต่งและซ่อมทำโดยไม่ต้องทำการเปิดฝาครอบตัวเรือนแบริ่งกันรุน การซ่อมทำหรือปรับแต่งระบบสายไฟภายนอก ระบบท่อทางน้ำมันไฮดรอลิกส์และน้ำมันหล่อลื่น รวมทั้งข้อต่อท่อทางที่สามารถดำเนินการได้เท่านั้น

7.2. ตัวอย่างการซ่อมบำรุง เช่น ตรวจสภาพการชำรุดของแผ่นเอียง (Thrust Pads) เมื่อพบว่า การเลื่อนตามแนวแกนของเพลาใบจักรจากศูนย์กลางไปทางท้ายได้เกินกว่าเกณฑ์การสึกของแบริ่งที่ยอมรับได้ตามคู่มือ หรือเปลี่ยนแผ่นเอียง เมื่อวัดความสูงของแผ่นเอียงแล้วพบว่าสึกเกินกว่าเกณฑ์กำหนด หรือตรวจสภาพแผ่นเอียงเมื่อระบบตรวจสอบอุณหภูมิแบริ่งส่งสัญญาณเตือนอุณหภูมิแบริ่ง(Babbit) สูงเกิน 250 °F

8. การแก้ไขข้อขัดข้อง (Trouble Shooting)

การทำงานผิดปกติของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร จะแสดงให้รู้ได้โดยอุณหภูมิที่อ่านได้จากระบบ RTE และเทอรโมมิเตอร์สูงเกินเกณฑ์ กำลังดันน้ำมันหล่อลื่นสูงหรือต่ำผิดปกติ การไหลเวียนของน้ำมันหล่อลื่นผ่านหลอดแก้วผิดปกติ หรือเกิดเสียงหรือความสั่นสะเทือนผิดปกติ เป็นต้น

8.1. ข้อขัดข้องที่เกิดกับชุด VR

ข้อขัดข้องที่เกิดกับชุด VR ของแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร เช่น อาการ Shaft Hunting (อาการที่เพลาใบจักรเลื่อนตามแนวแกนจากศูนย์กลางไปทางด้านหัวและด้านท้ายสลับกัน) ซึ่งอาจเป็นเพราะการตั้งค่าการทำงานของลิ้นควบคุมกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ (Control Valve) ไม่ถูกต้อง หรืออาจเกิดจากสาเหตุลิ้นควบคุมเกิดอาการติดขัด (Sticking Control Valve) การแก้ไขโดยตั้งค่าการทำงานของลิ้นควบคุมกำลังดันน้ำมันให้ถูกต้อง ถ้าปล่อยอาการดังกล่าวทิ้งไว้อาจทำให้เกิดข้อขัดข้องที่ร้ายแรงกล่าวคือ เกิดอาการไฮดรอลิกส์ล็อคขณะที่เพลาใบจักรอาจจะเลื่อนไปติดอยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่อาจทำความเสียหายให้กับโครงสร้างทั้งระบบ (อาการของไฮดรอลิกส์ล็อคเกิดที่บ่าเพลากันรุน (Thrust Collar) เหมือนกับการทำงานของ Disk Brake อาจทำให้เพลากันรุนหมุนช้าหรือหยุดหมุน RTE ส่งสัญญาณเตือนอุณหภูมิแบริ่งสูง การแก้ไขโดยใช้ Manual Override ควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ ปรับเลื่อนเพลาใบจักรให้กลับมาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องโดยเร็วที่สุด)

8.2. อาการแบริ่งเช็ด (Wiping)

อาจจะเกิดขึ้นได้กับแบริ่งกันรุนเพลาใบจักร (แต่ไม่บ่อยนัก) ตรวจพบได้โดยอุณหภูมิแบริ่งและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และสิ่งที่รู้ได้อย่างชัดเจนว่าเกิดอาการแบริ่งเช็ด คือ ตรวจพบเศษแบริ่ง (Babbit) อยู่ในหม้อกรองน้ำมันหล่อลื่น

8.3. การแก้ไขข้อขัดข้อง

แนวทางการแก้ไขข้อขัดข้อง

ข้อขัดข้อง / ปัญหา	สาเหตุ	การตรวจสอบและซ่อมทำ
แบริ่งร้อน	การไหลเวียนของ นมล.ในระบบไม่เพียงพอ	ตรวจกำลังดันทางส่งของปั๊ม นมล.และการไหลเวียนที่หลอดแก้ว ตรวจหาความผิดปกติของปั๊ม นมล. การอุดตันในระบบท่อทางและหม้อกรอง นมล. ทำความสะอาดหรือแก้ไขซ่อมทำ
	แบริ่งรับเพลากันรุน รับภาระมากเกินไป	ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของศูนย์เพลาใบจักรที่มีสาเหตุจากการสึกของแบริ่งกระบอกดีฟุตหรือแบริ่งรับเพลาใบจัก การแก้ไขโดยตั้งศูนย์เพลาใบจักร หรือเปลี่ยนแบริ่งใหม่ถ้าจำเป็น
	แบริ่งเช็ด	ตรวจระยะแบริ่ง /เปรียบเทียบกับค่าเดิมที่บันทึกไว้ ตรวจหาเศษ Babbitt ที่หม้อกรอง นมล. การแก้ไขโดยซ่อมทำ หรือเปลี่ยนแบริ่งใหม่ถ้าจำเป็น
	น้ำมันหล่อลื่นสกปรก	ตรวจหาสาเหตุที่ทำให้ นมล.สกปรกและดำเนินการแก้ไขโดยทำความสะอาดระบบด้วยวิธีระบายทิ้งแล้วทำความสะอาด SUMP
	RTE ทำงานผิดปกติ	ตรวจการช็อตหรือลงกราวด์ของอุปกรณ์และสายไฟต่อสายไฟใช้ RTE ตัวอะไหล่ ตรวจซ่อมหรือเปลี่ยนใหม่อุปกรณ์หรือสายไฟที่ชำรุด
	อุณหภูมิ นมล.ทางเข้าเรือนแบริ่งสูง	ตรวจหาสาเหตุอุณหภูมิ นมล.สูง ดำเนินการแก้ไขถ้าจำเป็น
เกิดการสั่นสะเทือนหรือเสียงดัง	เพลาคด	ตรวจสภาพตลอดเพลา ดัดให้ตรง หรือเปลี่ยนเพลาใหม่ ตรวจสภาพ/เปลี่ยนซีล
	เกิดการเสียดสีที่ซีล แบริ่งเช็ด	ตรวจระยะแบริ่งและเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมที่บันทึกไว้ ตรวจหาเศษ BABBITT ที่หม้อกรอง นมล. ซ่อมทำหรือเปลี่ยนผิวสัมผัสของแบริ่งถ้าจำเป็น
	สลักยึดฐานหรือตัวเรือนแบริ่งฝาบนหลวม	กวดสลักยึดให้แน่น หรือกวดตามคู่มือ

	ชุด VR ไม่ทำงาน	ตรวจสอบกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ ตรวจความผิดปกติของระบบควบคุมและชุดวัดระยะเลื่อน หรือตรวจความผิดปกติของลิ้นควบคุมด้วยไฟฟ้า ซ่อมทำส่วนประกอบที่ชำรุดหรือเปลี่ยนใหม่ถ้าจำเป็น
เพลาติด (HARD UP)	ชุด VR ทำงานผิดปกติหรือไม่ทำงาน	ตรวจสอบกำลังดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ ตรวจความผิดปกติของระบบควบคุมและชุดวัดระยะเลื่อน หรือตรวจความผิดปกติของลิ้นควบคุมด้วยไฟฟ้า ซ่อมทำส่วนประกอบที่ชำรุดหรือเปลี่ยนใหม่ถ้าจำเป็น
เพลาใบจักรเลื่อนตามแนวแกนไปทางหัวและทางท้ายสลับกัน (SHAFT -HUNTING)	ชุด VR ทำงานผิดปกติ	ตรวจสอบการรั่วไหลระบบน้ำมันไฮดรอลิกส์ หรือความผิดปกติของระบบควบคุมและชุดวัดระยะเลื่อน ซ่อมทำส่วนประกอบที่ชำรุดหรือเปลี่ยนใหม่ถ้าจำเป็น
ซีลกั้นน้ำมันที่เพลารั่ว	แป๊กกิ้งขาดหรือชำรุด	ตรวจสภาพ /เปลี่ยนใหม่ถ้าจำเป็น

เอกสารอ้างอิง NSTM CHAPTER 244 SECTION 3
PROPULSION BEARINGS AND SEALS

บทที่ 8. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร
เรื่อง แบริ่งรับเพลาใบจักร (Line Shaft Bearings)
1. กล่าวโดยทั่วไป

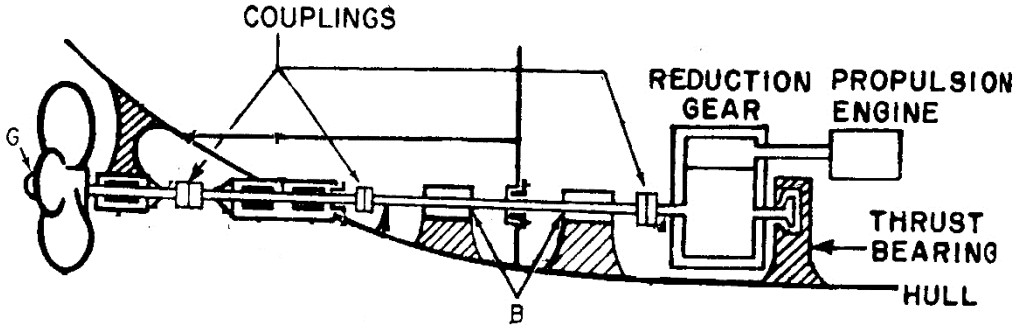
แบริ่งรับเพลาใบจักร คืออุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าแปลนต่อเพลาใบจักรท้ายหมู่เฟืองทดรอบและซีลกันรั่วกระบอกดีฟุต (The Stern Tube Seal) ทำหน้าที่ รับแรงในแนวรัศมีของเพลาใบจักรเรือ (แบริ่งอาจจะมีมากกว่า 1 ชุด ขึ้นอยู่กับความยาวของ Line Shaft) รายละเอียดเกี่ยวกับการติดตั้งในเรือหรือข้อมูลเฉพาะให้ศึกษาจากคู่มือเรือ

ในรายละเอียดจะกล่าวถึงแบริ่งชนิดผิวลื่นสัมผัส (Sliding – Surface - type Bearing) แบบ Disk - Oil Bearing และ Ring - Oil Bearing

1. Disk - Oil Babbitted Bearing เป็นแบริ่งที่มีวิธีการหล่อลื่นด้วยแผ่นจานน้ำมัน (Disk – Oil) ติดตั้งอยู่รอบเพลาใบจักรด้วยฝาปะกับ (Clamp - Ring) ภายในเรือนแบริ่ง และเป็นแบริ่งที่ออกแบบมาใช้งานกับเรือรุ่นใหม่

2. ส่วน Ring - Oil Babbitted Bearing เป็นแบริ่งที่มีวิธีการหล่อลื่นด้วยวงแหวนน้ำมัน (RING - Oil) ที่ประกอบรอบและหมุนไปพร้อมกับเพลาใบจักรอยู่ภายในเรือนแบริ่ง เป็นแบริ่งที่ใช้งานอยู่ในเรือรบรุ่นเก่า

แบริ่งทั้ง 2 แบบถูกออกแบบให้สามารถปรับศูนย์เองได้ (Self - Aligning) (แต่จะมีข้อยกเว้นบางประการ) สำหรับเรือขนาดเล็กอาจใช้แบริ่งรับเพลาใบจักรแบบรูปทรงกระบอก (Straight – Cylindrical Type) ก็ได้



แสดงสถานที่ติดตั้งแบริ่งรับเพลาใบจักร (B)

2. ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (Safety Precaution)

ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับแบริ่งรับเพลาใบจักรชนิดผิวลื่นสัมผัสให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือ แต่มีสิ่งที่เพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อสังเกตดังนี้

1. หลีกเลี่ยงการสัมผัสเพลาใบจักรที่กำลังหมุน เฟืองจากเป็นอันตรายอย่างมาก

2. เมื่อต้องการซ่อมบำรุงแบริ่งรับเพลาใบจักรควรให้เพลาใบจักรหยุดหมุน ติดป้ายแจ้งเตือนห้ามเดินเครื่องจักรใหญ่หรือหมุนเพลาใบจักรให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบและทำการล็อคเพลาใบจักร

3. ระวังอย่าให้เกิดประกายไฟ น้ำมันหล่อลื่นอาจลุกไหม้ได้

4. เนื่องจากส่วนประกอบของแบริ่งมีน้ำหนักมาก ถอดประกอบและยกยาก ให้ใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษขณะปฏิบัติงาน

5. สวมใส่อุปกรณ์ป้องกัน เช่น แว่นตา ถุงมือ ผ้ากันเปื้อนและตรวจสอบเสื้อผ้าชนิดป้องกันสารเคมี ขณะทำความสะอาดหรือตรวจสอบสภาพโลหะของผิวสัมผัสแบริ่ง (Babbitt)

6. ควรจัดให้มีการระบายอากาศในห้องอย่างเพียงพอ เพื่อการระบายควันหรือไอระเหยของสารพิษขณะปฏิบัติงาน

3. การออกแบบแบริ่งรับเพลาใบจักร (lineshaft Bearing Design)

แบริ่งรับเพลาใบจักรเป็นแบบปรับศูนย์เองได้ ประกอบอยู่ภายในตัวเรือนแบริ่งที่สามารถถอดชิ้นส่วนสำคัญได้ง่าย ซึ่งตัวเรือนแบริ่งประกอบด้วนฐาน (Pedestal) และฝาครอบ (Cap)

ระบบหล่อลื่น (Lubrication) เป็นระบบที่มีโครงสร้างเฉพาะ (Self - Contained) โดยมีวิธีการหล่อลื่นแบบใช้วงแหวนน้ำมันหรือแบบจานน้ำมันอย่างใดอย่างหนึ่ง ในการนำน้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมัน (Sump) ส่งขึ้นไประบายความร้อนและหล่อลื่นที่ผิวสัมผัสของแบริ่ง แบบของแบริ่งที่ใช้มี 2 ลักษณะ คือ แบบปลอกรูปทรงกระบอก เวลาประกอบต้องใช้วิธีสอด (Insert - Type Babbitted Bearing Liner) และแบบหล่ออัดแน่นติดกับเปลือกแบริ่ง (Bearing Liner Shell) แบริ่งดังกล่าวถูกติดตั้งอยู่บนฐานแบบปรับศูนย์ได้อยู่ภายในเรือนแบริง

3.1. แหวนน้ำมัน (Ring – Oil)

โครงสร้างของแบริ่งรับเพลาใบจักรที่ใช้การหล่อลื่นด้วยแหวนน้ำมันอาจใช้แหวนน้ำมันได้ 2-3 วง วงแหวนน้ำมันด้านบนประกอบอยู่ภายในช่องที่เปลือกแบริ่ง ด้านล่างประกอบในอ่างน้ำมัน ลักษณะการประกอบรอบเพลาใบจักรเป็นรูปวงรี

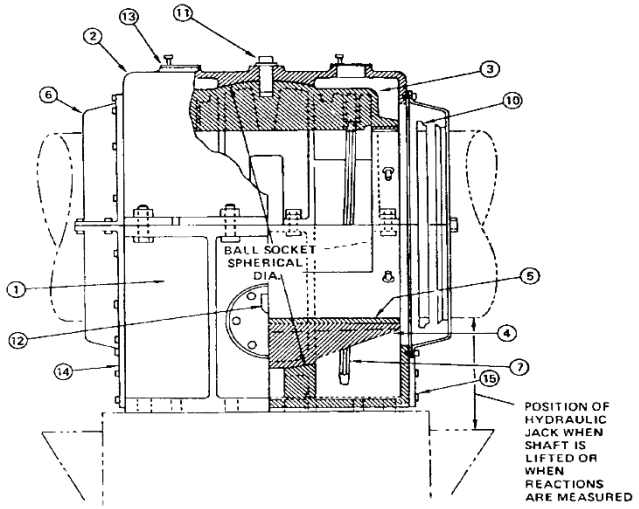
3.2.จานน้ำมัน (Disk Oil)

โครงสร้างของแบริ่งรับเพลาใบจักรที่ใช้วิธีการหล่อลื่นด้วยจานน้ำมัน ลักษณะการทำงานเหมือนกับวิธีการหล่อลื่นด้วยแหวนน้ำมันกล่าวคือ เมื่อจานหมุน น้ำมันหล่อลื่นจากถังพักส่วนล่างจะติดจานหมุนขึ้นไปส่วนบนของเรือนแบริ่ง จากนั้นแผ่นกวาดน้ำมัน (Scraper) จะทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อลื่นจากแผ่นจานให้ตกลงไปยังช่องเก็บที่เปลือกแบริ่งบน จากช่องเก็บที่เปลือกแบริ่งบน น้ำมันหล่อลื่นไหลผ่านรูเข้าไปหล่อลื่นและระบายความร้อนที่ผิวสัมผัสแบริ่ง

จากการใช้งานพบว่า การทำงานของจานน้ำมันดีกว่าแหวนน้ำมันในทุกๆ ความเร็ว โดยเฉพาะขณะหมุนเพลาใบจักรด้วยมอเตอร์ (Turning Gear) ทั้งนี้เพราะแหวนน้ำมันอาจจะเกิดอาการติด (ไม่หมุนไปพร้อมเพลา) ทำให้แบริ่งขาดการหล่อลื่น สำหรับแบริ่งที่ใช้จานน้ำมัน การประกอบแผ่นจานกับเพลาใบจักรทำได้ดี และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการหมุน

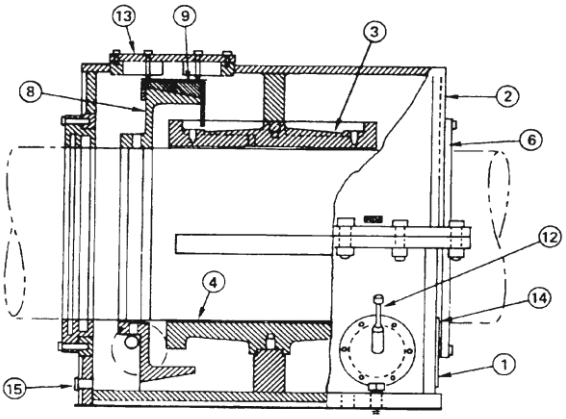
3.3.แผ่นกวาดน้ำมัน (Scraper)

ติดตั้งอยู่ส่วนบน และทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อลื่นจากแผ่นจานลงไปช่องด้านบนของเปลือกแบริ่งบนนั้น ประกอบยึดติดแน่นไม่ให้หมุนตามแผ่นจานด้วยเดือยหรือสลัก



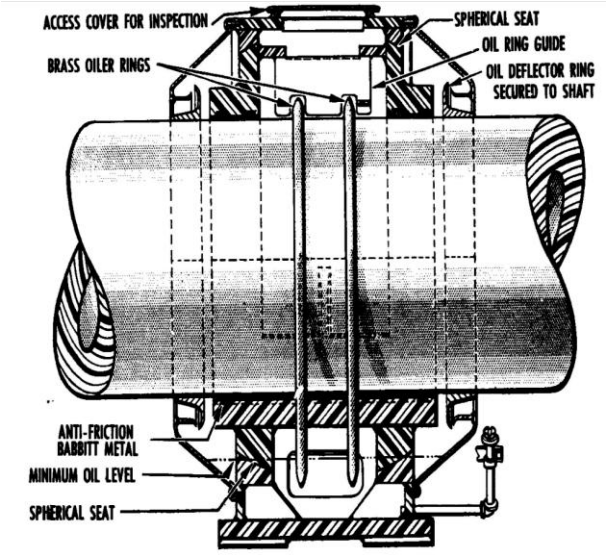
PART NO.	NOMENCLATURE
1	BEARING PEDESTAL
2	BEARING CAP
3	UPPER BEARING SHELL
4	LOWER BEARING SHELL
5	BEARING INSERT
6	OIL RETAINING END COVER
7	OIL RING
*8	OIL DISK
*9	OIL SCRAPER
10	OIL SLINGER RING
11	PIVOT PIN
12	OIL GAGE
13	SIGHTHOLE
14	HANDHOLE
15	PIPE PLUG

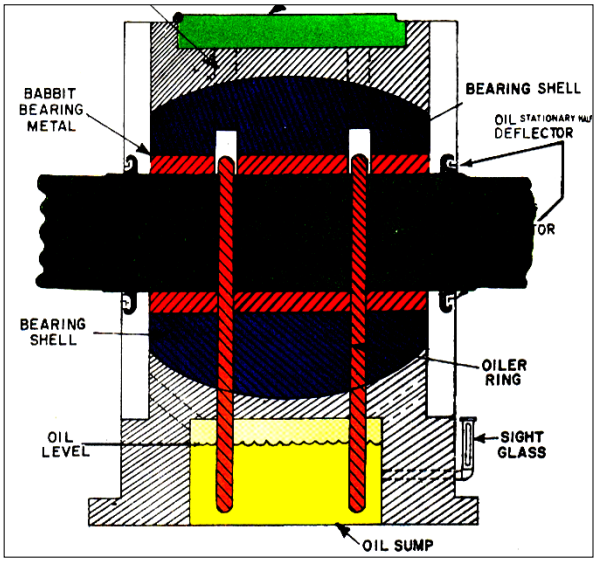
* SHOWN ON DISK-OILED BEARING



PART NO.	NOMENCLATURE
1	BEARING PEDESTAL
2	BEARING CAP
3	UPPER BEARING SHELL
4	LOWER BEARING SHELL
* 5	BEARING INSERT
6	OIL RETAINING END COVER
* 7	OIL RING
8	OIL DISK
9	OIL SCRAPER
*10	OIL SLINGER RING
*11	PIVOT PIN
12	OIL GAGE
13	SIGHTHOLE
14	HANDHOLE
15	PIPE PLUG

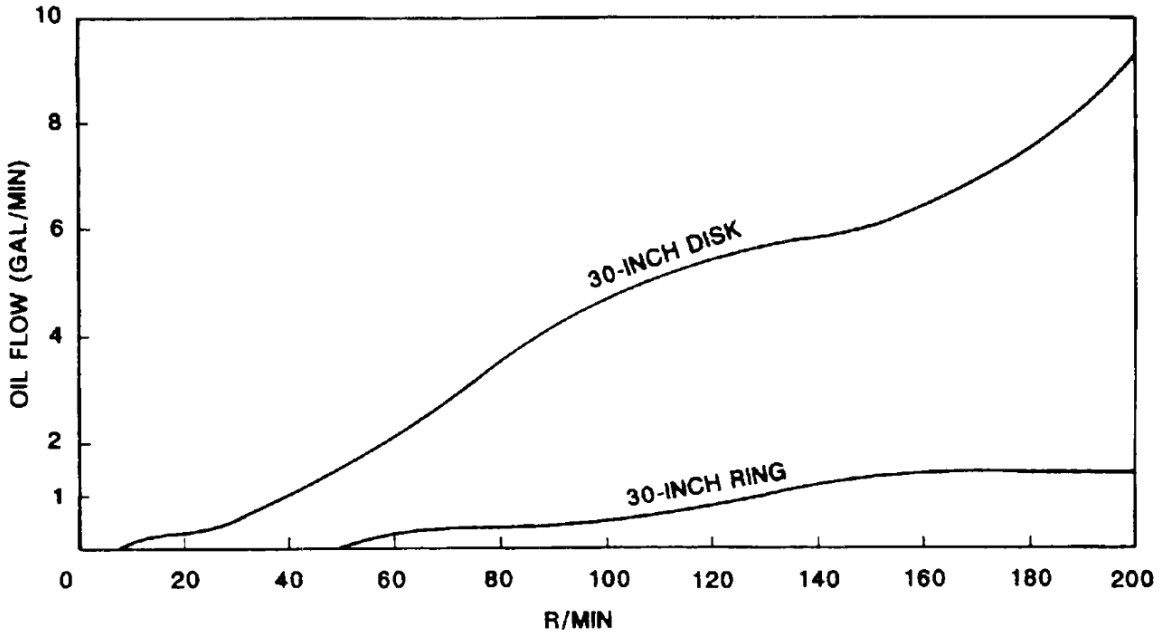
* SHOWN ON RING-OILED BEARING





Ring-Oiled Bearing *Disk-Oiled Bearing*

ส่วนประกอบสำคัญของชุดแบริ่งรับเพลาใบจักร



Ring and Disk Oil Delivery Rates

4. ส่วนประกอบของแบริ่งรับเพลาใบจักร (Major Component)

4.1. ฐานแบริ่ง (Bearing Pedestal) (หมายเลข 1)

ฐานแบริ่งเป็นส่วนล่างของตัวเรือนแบริ่ง ทำหน้าที่เป็นสถานที่ติดตั้งและปรับศูนย์เปลือกแบริ่ง นอกจากนั้นยังทำหน้าที่รองรับส่วนประกอบทั้งหมดของชุดแบริ่งและเพลาใบจักร ฐานแบริ่งประกอบติดกับโครงสร้างตัวเรือด้วยสลัก

4.2. ฝาครอบแบริ่ง (Bearing Cap) (หมายเลข 2)

ฝาครอบแบริ่งเป็นส่วนหนึ่งของตัวเรือนแบริ่ง ทำหน้าที่ยึดแบริ่งและส่วนประกอบไม่ให้มีการเคลื่อนตัว และรับแรงสั่นสะเทือนหรือภาระที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเพลาใบจักรในทางตั้ง ฝาครอบแบริ่งถูกยึดติดกับฐานแบริ่งด้วยสลัก

4.3. ตัวเรือนแบริ่ง (Bearing Housing)

ตัวเรือนแบริ่ง เป็นส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้าง 3 ส่วน คือ ฐานแบริ่ง ฝาครอบแบริ่ง และแผ่นปิดหัวท้ายเรือนแบริ่ง

4.4. เปลือกแบริ่ง (Bearing Shell) (หมายเลข 3 และ 4)

เปลือกแบริ่งเป็นส่วนประกอบของชุดแบริ่งที่ออกแบบให้ทำหน้าที่ในการปรับระยะหรือปรับศูนย์แบริ่งได้ในตัวขณะใช้งาน (Self – Aligning) ประกอบด้วย 2 ส่วน (เปลือกบน - ล่าง) โดยด้านในของเปลือกแบริ่งทั้งส่วนบนและล่างถูกสร้างให้มีผิวทรงกระบอก และมีระยะโตใน (Inside Diameter) ที่พอดีกับการใส่แบริ่ง (Babbitt Bearing Insert) หรือมีระยะโตใน ที่สามารถอาบผิวสัมผัสด้วย Babbitt ให้ได้ความหนาตามคู่มือ การวัดหนาของ Babbitt และการตรวจสอบขณะใช้งานให้ปฏิบัติตามคู่มือ

4.5. แบริ่งปลอกรูปทรงกระบอกปลอก (Insert - type Babbitted Bearing Liner) (หมายเลข 5)

เป็นแบริ่งที่มีขนาด (ความหนา) พอดีกับการสอดใส่เข้าไปในช่องว่างระหว่างเปลือกแบริ่งและผิวสัมผัสของเพลาใบจักร ความหนาของ Babbitt และวิธีการวัดตามคู่มือกำหนด แบริ่งปลอกหรือ Bearing Insert เมื่อหมดระยะใช้งานไม่สามารถหล่อกลับมาใช้งานใหม่ได้

4.6. แหวนน้ำมัน (Oil Ring) (หมายเลข 7)

แหวนน้ำมันมีโครงสร้างที่เป็นส่วนผสมของโลหะ (BRASS) ผิวภายนอกหยาบ และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตในประมาณ 1 1/3 ของเพลาใบจักรและปลอกเพลา (Shaft Sleeve) แหวนน้ำมันประกอบอยู่โดยรอบเพลาใบจักร สัมผัสและ

หมุนไปพร้อมกับเพลาใบจักร (ด้วยความฝืดของผิวภายนอกที่หยาบ) การทำงานของแหวนน้ำมัน กล่าวคือ เมื่อวงแหวนหมุนด้านล่างของแหวนน้ำมันที่จมอยู่ในอ่างน้ำมันหล่อก็จะหมุนขึ้น และนำเอาน้ำมันหล่อลื่นติดผิววงแหวนขึ้นมาด้านบนของเพลาใบจักรด้วย เมื่อน้ำมันหล่อลื่นที่ติดวงแหวนมาถึงส่วนบนของเพลาใบจักร ช่องบังคับวงแหวน (GROOVE หรือ OIL RING GUIDE ที่เปลือกแบริ่ง) ทำหน้าที่รีดน้ำมันหล่อลื่นออกจากวงแหวนตกลงบนเพลาใบจักรและหล่อลื่นผิวสัมผัสของแบริ่ง (Babbitl)

4.7. จานน้ำมัน (Oil Disk) (หมายเลข 8)

จานน้ำมันสร้างจากโลหะทรงกลมบาง ประกอบติดอยู่รอบเพลาใบจักรภายในเรือนแบริ่ง ส่วนล่างของจานน้ำมัน (ใต้เพลาใบจักร) จมอยู่ในอ่างน้ำมัน การทำงานเหมือนกับแหวนน้ำมัน กล่าวคือ เมื่อเพลาใบจักรหมุน จานน้ำมันส่วนที่จมอยู่ในอ่างน้ำมันทำหน้าที่พาน้ำมันหล่อลื่นติดขึ้นไปส่วนบนของเพลาด้วย จากนั้นแผ่นกวาดน้ำมัน (Scraper) จะทำหน้าที่กวาดน้ำมันออกจากผิวจานตกไปหล่อลื่นผิวสัมผัสของแบริ่ง

4.8. แหวนกันน้ำมัน (Oil Slinger Ring) (หมายเลข 10)

แหวนกันน้ำมันประกอบติดและหมุนพร้อมไปกลับเพลาใบจักรอยู่บริเวณด้านหัว - ท้ายภายในเรือนแบริ่ง ทำหน้าที่ป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วไหลออกไปจากเรือนแบริ่ง การทำงานของแหวนกันน้ำมันด้วยแรงเหวี่ยงเมื่อเพลาใบจักรหมุน

4.9. เดือยล็อค (Pivot Pin) (หมายเลข 3)

เดือยล็อคที่ประกอบอยู่ระหว่างฝาครอบและเปลือกแบริ่งบน ทำหน้าที่ ป้องกันเปลือกแบริ่งหมุนตามเพลาใบจักร และรูเดือยล็อคยังเป็นสถานที่ติดตั้ง ไมโครมิเตอร์ (Depth micrometer) สำหรับวัดระยะ (Clearance) ผิวสัมผัสของแบริ่ง

4.10. อุปกรณ์วัดระดับน้ำมันในถังพัก (OIL Gage) (หมายเลข 2)

อุปกรณ์วัดระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันหล่อลื่นปกติเป็นไม้วัดพร้อมด้วยขีดแสดงระดับ แต่เรือนแบริ่งบางแบบแสดงระดับน้ำมันหล่อด้วยหลอดแก้ว

4.11. ช่องตรวจ (Inspection Port หรือ Sighthole) (หมายเลข 13)

เป็นช่องที่อยู่บนฝาครอบเรือนแบริ่งเหนือบริเวณที่ติดตั้งจานน้ำมันหรือแหวนน้ำมัน เดิมช่องตรวจถูกปิดไว้ด้วยฝาโลหะเพื่อป้องกันผงฝุ่นเข้าไปในเรือนแบริ่ง ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นฝาพลาสติกที่สามารถตรวจสอบการทำงานของแหวนน้ำมันหรือจานน้ำมันได้โดยไม่ต้องเปิดฝาช่องตรวจ ช่วยลดสิ่งสกปรกที่จะเข้าไปปนกับน้ำมันหล่อลื่น และสามารถตรวจการทำงานของอุปกรณ์ภายในได้ตลอดเวลาโดยเฉพาะขณะใช้ความเร็วสูง

4.12 ช่องมือ (Hand Hole) (หมายเลข 14)

ช่องมือพร้อมฝาปิดเป็นส่วนประกอบที่อยู่บริเวณด้านหัวหรือด้านท้ายเหนือฐานแบริ่ง เป็นช่องสำหรับเปิดเพื่อทำความสะอาดภายในอ่างน้ำมันหล่อ และตรวจสภาพภายในตัวเรือนแบริ่ง

4.13. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก (Bearing Sump Temperature Monitors)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ โดยติดตั้งอยู่ที่ lineshaft bearing oil sump โดยปลายด้านรับอุณหภูมิสัมผัสอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นภายในถังอ่างน้ำมันตลอดเวลา (ห้ามใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท) หรืออาจติดตั้ง RTE (Resistance Temperature Element) เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยไฟฟ้าแทนเทอร์โมมิเตอร์ก็ได้

4.14. ระบบตรวจสอบอุณหภูมิแบริ่ง (Bearing Babbitt Temperature Monitors)

แบริ่งรับเพลาใบจักรมีอุปกรณ์ระบบ RTE ฝังอยู่ภายใน Babbitt ทำหน้าที่ตรวจวัดและแสดงอุณหภูมิแบริ่งขณะใช้งาน ซึ่งโดยปกติแล้วอุณหภูมิแบริ่งที่ RTE วัดได้นั้น จะสูงกว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก รวมทั้งระบบ RTE ยังมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่า เครื่อง/อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในถังพักอีกด้วย รายละเอียดเกี่ยวกับระบบ RTE หรืออุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นให้ศึกษาจากคู่มือเรือ

5. ฐานปรับระยะ (Self-Aligning Mount)

ฐานแบริ่ง ออกแบบให้มีคุณสมบัติปรับศูนย์ได้ภายในตัวมี 3 ลักษณะ มีรายละเอียดดังนี้

5.1. ฐานแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Mount)

โครงสร้างของแบริ่งที่วางอยู่บนโครงรับภายในเรือนแบริ่ง ซึ่งความหนาของโครงรับนี้จะถูกควบคุมให้มีขนาดตามที่กำหนด เพื่อให้มีระยะการทำงานร่วมกับไดอะแฟรมในการปรับแนวสัมผัสของแบริ่งให้ได้ศูนย์ตามแนวของเพลาใบจักรที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงที่กระทำอยู่ตลอดเวลา

5.2. ฐานแบบข้อต่อ (Knuckle Mount)

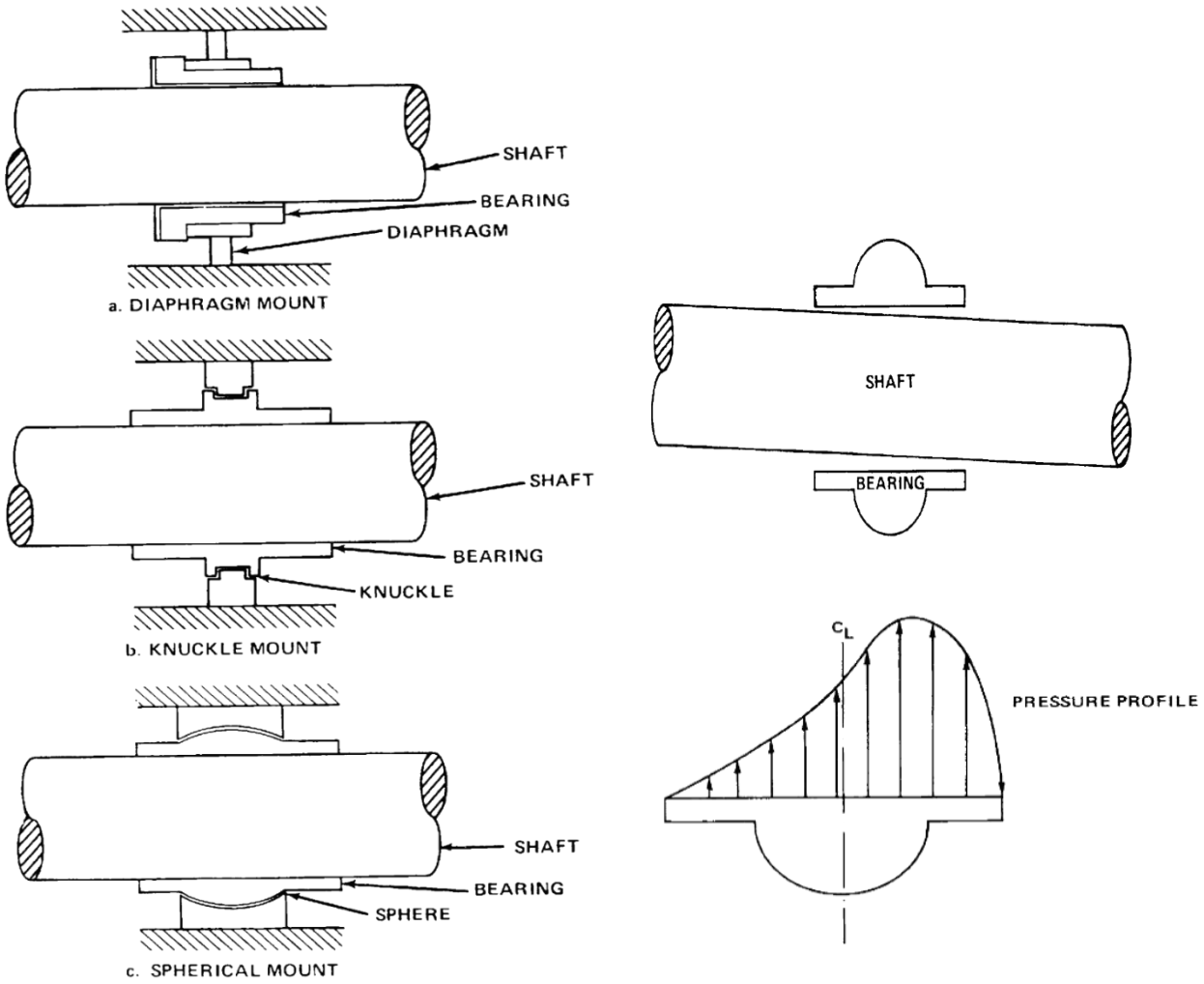
ลักษณะที่สำคัญของฐานแบริ่งแบบข้อต่อ คือ ด้านนอกของเปลือกแบริ่ง มีโครงรับ 2 แนว ส่วนบริเวณแนวตรงกลางของโครงรับสร้างในลักษณะนูนกลมตื้น (Spherical) ซึ่งตรงกลางของนูนกลมนี้เป็นข้อต่อ (Knuckle) หรือพื้นที่สัมผัสกับส่วนประกอบของตัวเรือนแบริ่งที่สามารถโครงตัว (Rock) และปรับแนวสัมผัสระหว่างแบริ่งกับเพลาใบจักรได้

5.3. ฐานแบบทรงกลม (Spherical Mount)

ลักษณะที่สำคัญของฐานทรงกลม คือ ด้านนอกของเปลือกแบริ่งสร้างเป็นทรงกลมนูนใหญ่ ซึ่งเมื่อสัมผัสกับบริเวณช่องเว้าที่เปลือกแบริ่งแล้ว สามารถที่จะเลื่อนตัวปรับแนวสัมผัสของแบริ่งกับเพลาใบจักรให้สัมพันธ์กับภาระได้

5.4. การเยื้องศูนย์ (Misalignment)

เมื่อมีการเยื้องศูนย์เกิดขึ้นที่ฐานแบริ่งทั้ง 3 แบบ จะทำให้แบริ่งรับน้ำหนักของเพลาใบจักรได้ไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดแรงกระทำต่อแบริ่งและเพลาใบจักรในลักษณะที่ต่างกัน



BEARING MOUNTS

6. การใช้งานและปัญหาข้อขัดข้อง (Operating Procedures and Problems)

6.1. มาตรการใช้งาน (Operating criteria)

การติดตั้งและการปฏิบัติกับระบบหล่อลื่นอย่างถูกต้องเป็น 2 มาตรการสำคัญของการใช้งานแบริ่งรับเพลาใบจักร อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในถังพักไม่ควรเกิน 82 °c (180 ° f) และอุณหภูมิ Babbit จะต้องไม่เกิน 121 °c (250 ° f)

6.2. น้ำมันหล่อลื่น (lubricating Oil)

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานกับแบริ่งรับเพลาใบจักร ปกติเป็นชนิดเดียวกันกับที่ใช้งานในเครื่องจักรอื่นๆ ของระบบขับเคลื่อนและโครงสร้างของระบบน้ำมันหล่อลื่นแบริ่งรับเพลาใบจักรนั้น ส่วนมากเป็นระบบแยกเป็นอิสระ (Self - Contained Oil System) สำหรับเรือบางประเภทอาจมีระบบท่อทางเติมและท่อทางเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นรวมอยู่ด้วย (ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ)

6.2.1 น้ำมันหล่อลื่นแบริ่งรับเพลาใบจักรของเรือบางประเภทอาจมีระบบท่อทางเติมและท่อทางเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อรวมอยู่ด้วย

6.2.2. เพื่อป้องกันแบริ่งรับเพลาใบจักรชำรุด น้ำมันหล่อลื่นต้องสะอาด ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปนและต้องทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นถ้าตรวจพบว่ามีน้ำหรือตะกอนปน

6.3. การป้องกันอันตรายกับแบริ่ง (Bearing Security)

เพื่อหลีกเลี่ยงผู้ไม่หวังดี ความประมาทเลินเล่อ บริเวณตัวเรือนแบริ่ง (ช่องตรวจ) หรือห้องเพลาที่เป็นสถานที่ติดตั้งแบริ่ง ควรมีการปิดล็อกด้วยกุญแจ หรือจัดเวรยามตรวจความเรียบร้อยอย่างต่อเนื่อง

ข้อควรระวัง

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแบริ่ง หรืออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สูงเกินเกณฑ์ โดยมีสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิห้องปกตินั้น อาจเป็นเพราะปัญหาภายในตัวเรือนแบริ่ง ควรเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด วัดระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพักและนำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นส่งไปตรวจ

6.4. อุณหภูมิแบริ่ง (Bearing Temperature)

แสดงการเยื้องศูนย์เกิดขึ้นที่ฐานแบริ่ง (MISALIGNED BEARING)

น้ำมันหล่อลื่นในถังพักของแบริ่งรับเพลาใบจักร ปกติจะมีอุณหภูมิประมาณ 28 °c (50 ° f) หรือประมาณอุณหภูมิห้องถ้าไม่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง ส่วนอุณหภูมิของแบริ่ง (วัดโดย Resistance Temperature Element (RTE) จะสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก อุณหภูมิแบริ่งสูงสุดไม่ควรเกิน 180 ° f (82 °c)

6.4.1. อุณหภูมิแบริ่งสูงเกินเกณฑ์ (Overheat Bearing)

เพื่อให้มีการปฏิบัติที่ถูกต้อง จึงได้มีการกำหนดเกณฑ์อุณหภูมิของแบริ่งรับเพลาใบจักรที่จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ร้อน (Hot) หรือร้อนจนไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrolled Hot) โดยมีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นแบริ่งที่วัดโดยตรงจากในถังพักด้วยเทอร์โมมิเตอร์

ก. เกณฑ์ร้อน (Hot)

1. อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นในถังพักสูงเกินเกณฑ์ใช้งานในสภาวะปกติ แต่น้อยกว่า 180 ° f (82 °c) โดยพิจารณาจากภาระและความเร็วรอบของเพลาใบจักร

2. อุณหภูมิใช้งานที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งโดย วิธีระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ในระบบ หรือวิธีลดรอบความเร็วเพลาใบจักร

ข. เกณฑ์ร้อนจนไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrolled Hot)

1. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในถังพักสูงเกิน 180 ° f (82 °c)
2. มีควันลอยออกมาจากแบริ่ง
3. มีเสียงดังผิดปกติจากแบริ่ง

4. เกิดสัญญาณเตือนอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูง (ถ้ามี)

- อุณหภูมิแบริ่ง (Babbit) ที่วัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิระบบไฟฟ้า (RTE)

ก. เกณฑ์ร้อน (Hot)

1. อุณหภูมิแบริ่งสูงเกินเกณฑ์ใช้งานปกติในแต่ละรอบความเร็วของเพลาใบจักรตามที่เคยใช้ (วัดขณะเรือเดินทางปกติหรือขณะแปรขบวน) แต่ไม่เกิน 250 ° f (121 °c)

2. อุณหภูมิแบริ่งที่จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปกตินั้น สามารถควบคุมได้โดยการระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์เฉพาะที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในระบบเท่านั้น

ข. เกณฑ์ร้อนจนไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrolled Hot)

1. อุณหภูมิแบริ่งเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิปกติสูงสุดประมาณ 20 ° f (11 °c) โดยวัดในขณะที่เรือเดินทางปกติหรือเรือแปรขบวน

2. แบริ่งมีอุณหภูมิ 250 ° f (121 °c) หรือสูงกว่า

6.4.2. การปฏิบัติเมื่อแบริ่งร้อน (Hot Bearing)

เมื่อเกิดเหตุการณ์แบริ่งรับเพลาใบจักรร้อน ควรดำเนินการ ดังต่อไปนี้

1. แจ้งห้องควบคุมเครื่องจักร

2. เมื่อได้รับอนุญาตให้ลดความเร็วรอบเพลาใบจักร ให้ใช้ความเร็วในการเดินทางนั้นไปจนกระทั่งแบริ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่รอบนั้น

ข้อควรระวัง

- ไม่ควรทำให้อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สูงเกินปกติลดลงเร็วเกินกว่าที่คู่มือกำหนด การลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วอาจเป็นสาเหตุทำให้ไอน้ำมันเกิดการควบแน่นภายในตัวเรือนแบริ่ง

- การลดอุณหภูมิแบริ่งร้อนด้วยวิธีใช้น้ำราดไปบนเรือนแบริ่ง อาจมีน้ำรั่วผ่านฝาปิดหรือฝาปิดช่องตรวจได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำมันหล่อลื่นมีน้ำปน

3. ใช้พัดลมเป่าแบริ่ง หรือในกรณีฉุกเฉินให้ใช้ผ้าชุบน้ำคลุมบนตัวเรือนแบริ่ง

4. ตรวจสอบระดับมันหล่อลื่นในถังพัก

5. ส่งน้ำมันหล่อลื่นตัวอย่างไปตรวจ

หมายเหตุ

ถ้าตรวจพบชิ้นส่วนของแบริ่ง (Babbitt) ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นแสดงว่าเกิดการเสียดสีที่แบริ่ง ให้เปิดและตรวจสอบแบริ่งในโอกาสแรก

6. ให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือในการตรวจสอบหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขแบริ่งร้อน

6.4.3. การปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุการณ์แบริ่งร้อนจนไม่สามารถควบคุมได้หรือเกิดการเสียดสีขึ้นที่แบริ่ง

1. แจ้งห้องควบคุมเครื่องจักร

2. เมื่อได้รับอนุญาตให้หยุดการใช้เครื่องและล็อคเพลาใบจักร

หมายเหตุ

การตัดสินใจว่าจะใช้งานต่อไป หรือเลิกเครื่องและล็อคเพลาใบจักร รวมทั้งสิ่งที่ต้องปฏิบัติหลังจากเมื่อเลิกใช้งานเพลาใบจักรแล้ว ว่าจะใช้วิธีการแก้ไขหรือซ่อมทำอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีมาก / น้อย

ข้อควรระวัง

- ไม่ควรทำให้อุณหภูมิมันหล่อลื่นที่สูงเกินปกติลดลงเร็วเกินกว่าที่คู่มือกำหนด การทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วอาจเป็นสาเหตุทำให้ไอน้ำมันเกิดการควบแน่นภายในตัวเรือนแบริ่ง

- การลดอุณหภูมิแบริ่งร้อนด้วยวิธีใช้น้ำราดไปบนเรือนแบริ่ง อาจทำให้มีน้ำรั่วผ่านฝาปิดหรือฝาปิดช่องตรวจได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้มันหล่อลื่นมีน้ำปน

3. ใช้พัดลมหรือผ้าชุบน้ำคลุมบนตัวเรือนแบริ่ง เพื่อว่าอาจจะแสดงอาการให้ทราบสาเหตุได้
4. ตรวจสภาพแบริ่งและมันหล่อลื่นในถังพัก เพื่อตรวจสอบความเสียหายที่เกิดการแบริ่งเช็ด
5. ให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือ ในการตรวจสอบสาเหตุและดำเนินการแก้ไขสถานการณ์

ตารางแก้ไขข้อขัดข้องแบิ่งรับเพลาใบจักร

อาการ	สาเหตุ	การแก้ไข
แบริ่งร้อน	**ความผิดปกติเกี่ยวกับการหล่อลื่น**	
	- ระดับน้ำมันหล่อลื่นต่ำ	- เติม นมล.ให้ได้ระดับ/ตรวจการรั่วไหล
	- น้ำมันหล่อลื่นปนน้ำ	- เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่
	- แหวนน้ำมันไม่หมุน /ชำรุด	- ซ่อมทำ หรือ เปลี่ยนใหม่
	- จานน้ำมันชำรุด	- ซ่อมทำ หรือ เปลี่ยนใหม่
	- ติดตั้งจานน้ำมัน (DISK) ไม่ถูกต้อง	- ตรวจปรับซ่อม หรือ เปลี่ยนใหม่
	- แผ่นกวาด นมล. (SCVAPER) ชำรุดหรือติดตั้งไม่ถูกต้อง	- ซ่อมทำ หรือ เปลี่ยนใหม่
	- ปิ้นล็อคแผ่นกวาด นมล.หลวมเกินไปหรือระยะไม่พอ	- ปรับซ่อมทำ
	- มีสิ่งสกปรก (ผง ฝุ่น) ปนใน นมล.	- ซ่อมทำ /ปรับแต่งระยะใหม่
	- เพลาใบจักร บริเวณรองรับแบริ่งชำรุด	- เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น /ตรวจสอบแบริ่ง
		- ปรับซ่อม
	ความผิดปกติที่อุปกรณ์ตรวจสอบ	
	- เทอร์โมมิเตอร์ชำรุด	- เปลี่ยนหรือปรับแต่งค่าใหม่
	- ระบบ RTE **ไม่ทำงาน**	- เปลี่ยนใช้ตัวอะไหล่ /ปรับแต่งค่าใหม่ ตรวจสายและข้อต่อสายไฟ
	การทำงานเกินกำลัง (OVERLOAD)	
	- แบริ่งไม่ได้ศูนย์	-ใช้เครื่องมือวัดตรวจ /ตรวจสอบภาระของแบริ่งด้วยวิธี JACK-CHECK
	- ระยะหน้าสัมผัสของแบริ่งไม่เทากัน	- ปรับแต่งระยะที่เปลือกแบริ่งใหม่
	- ระยะแบริ่งสึกมากเกินไป	- เปลี่ยนหรือหล่อ BABBITT ใหม่
	การติดตั้งอุปกรณ์ไม่ถูกต้อง	
	- ใส่แบริ่งปลายชิดอยู่ด้านใดด้านหนึ่ง	- ติดตั้งใหม่ให้ถูกต้อง
	- ขีดบอกระดับที่ไม้วัด นมล.ไม่ถูกต้อง	- ปรับใหม่

	- แบริ่งโก่งสีกับตัวเพลาใบจักร - เดือยล๊อคแบริ่ง (PIVOT PIN) ติด	- ปรับซ่อมหรือเปลี่ยนใหม่ - ซ่อมทำ/ปรับแต่งฝาครอบและเปลือกแบริ่ง
แบริ่งเซ็ด	- อาการเหมือนกับแบริ่งร้อน	- ถ้าเกิดบางส่วน - ให้ปรับซ่อมถ้าทำได้ - ถ้าอาการหนัก - เปลี่ยนแบริ่งใหม่
สั่นสะเทือนสูงเกินเกณฑ์	- นัตยึดฐานแบริ่งหลวม - ใช้งานในรอบความถี่ รีโซแนนซ์ -ใช้งานในรอบวิกฤติ - แป๊กกิ้งเพลาใบจักรผนังกันห้อง - ใบจักรชำรุด - เพลาใบจักรคด	- กวดใหม่ให้แน่น - ปกติ /ไม่ต้องปฏิบัติใดๆ - เปลี่ยนความเร็ว - เปลี่ยนใหม่ /ปรับแต่งให้ได้ศูนย์ - ตรวจซ่อมทำ /เปลี่ยนใบจักร - ตรวจสอบ /ซ่อมทำ
แบริ่งสึก	- น้ำมันหล่อลื่นสกปรก - การติดตั้งไม่ถูกต้อง - รับภาระสูงเกินเกณฑ์ - การเดิน /การหยุด /หมุน	- เปลี่ยน นมล.ใหม่ - ติดตั้งใหม่ให้ถูกต้อง - ดูที่สาเหตุการทำงานเกินกำลัง - ปกติ อาจเกิดจากสาเหตุการเป็นฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่น

6.5. ความสั่นสะเทือนและเกิดเสียงดังผิดปกติ (Vibration and Noise)

ความสั่นสะเทือนและเสียงดังที่เกิดขึ้นกับแบริ่งรับเพลาใบจักรขณะใช้งานด้วยความเร็วรอบต่ำนั้น อาจมีสาเหตุมาจากการหมุนของเพลาใบจักรไม่ราบเรียบ ทั้งนี้เกิดจากการสัมผัสหรือเกาะติดกันเป็นช่วงๆ ระหว่างเพลาใบจักรและแบริ่งกระบอกดีฟุตหรือโยงโย่ เป็นผลมาจากการเป็นฟิล์มของน้ำทะเลยังมีความหนาไม่พอที่จะยกเพลาใบจักรให้พ้นจากผิวสัมผัสของแบริ่ง ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มรอบเพลาใบจักรให้หมุนอยู่เกณฑ์ปกติ แต่ถ้าเพิ่มรอบเพลาใบจักรแล้วปรากฏว่าเสียงและความสั่นสะเทือนเกิดด้วยความรุนแรงมากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากแบริ่งรับเพลาใบจักรตัวใดตัวหนึ่งสึก (Weardown) ควรตรวจสอบศูนย์เพลาใบจักร หรืออาจจะต้องเปลี่ยนแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรถ้าจำเป็น

6.5.1 เกิดการเสียดสีระหว่างแป๊กกิ้งผนังห้อง (Bulkhead Gland Packing) และเพลาใบจักรส่วนที่อาจเกิดการโค้งงอ

อาการที่เกิดขึ้นดังกล่าวนั้น นอกจากจะทำให้มีเสียงดังเกิดขึ้นแล้ว ยังทำให้เพลาใบจักรและชุดแป๊กกิ้งผนังห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น(Overheat) (หรืออาจเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานเพลาใบจักรภายหลังที่มีการทดลองอัดอากาศภายในห้อง) เสียงและความสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เพราะเพลาใบจักรจะเกิดการโค้งงอมากขึ้นเนื่องจากการเสียดสีทำให้เพลาใบจักรมีอุณหภูมิสูงขึ้น ควรทำให้อุณหภูมิลดลงด้วยการระบายความร้อนเพลาใบจักรด้วยพัดลมหรือลดความเร็วรอบเพลาใบจักร ก่อนดำเนินการแก้ไขข้อขัดข้องด้วยการเปลี่ยนแป๊กกิ่งเพลาใบจักรผนังห้องและปรับให้ได้ศูนย์ ถ้าจำเป็น

6.6. น้ำท่วมแบริ่งรับเพลาใบจักร (Seawater Immersion)

เมื่อมีเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมห้องและเป็นสาเหตุทำให้แบริ่งรับเพลาใบจักรจมอยู่ใต้น้ำ การทำความสะอาดและปรับสภาพแบริ่งให้กลับมาใช้งานได้ใหม่นั้นให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือ ส่วนการควบคุมน้ำเข้าเรือให้ปฏิบัติตามคู่มือป้องกันความเสียหาย

6.7. การป้องกันสิ่งปนเปื้อน (Protection from Contamination)

ตลอดระยะเวลาที่มีการซ่อมทำแบริ่งรับเพลาใบจักร (ปกติดำเนินการโดยช่างโรงงาน) ต้องป้องกันผงฝุ่นและสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ หรือสิ่งอื่นใดเข้าไปภายในตัวเรือนแบริ่ง หรือสัมผัสกับส่วนประกอบสำคัญด้วยวิธีคลุมหรือห่อหุ้มด้วยพลาสติก และผูกรัดด้วยเทปกาวอย่างแน่นหนา พลาสติกที่ใช้ควรมีความหนาพอที่จะไม่เกิดการฉีกขาด

6.8. การปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุข้อขัดข้อง (Casualty Condition)

เมื่อมีเหตุการณ์ข้อขัดข้องเกิดขึ้นหรือสงสัยว่าจะเกิด ผู้ปฏิบัติหน้าที่ยามต้องรีบแจ้งห้องควบคุมเครื่องจักรทราบทันที

7. การซ่อมบำรุง (Maintenance)

7.1. ตารางการซ่อมบำรุง (Scheduled Maintenance)

การกำหนดตารางการซ่อมบำรุงควรเป็นช่วงที่เรือไม่มีภารกิจใดๆ และอาจจะต้องมีการซ่อมบำรุงก่อนตารางการปฏิบัติบ้างเป็นบางครั้ง เพื่อเร่งให้ทันภารกิจ หรือเพื่อแก้ไขสิ่งผิดปกติตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้น (ตารางการซ่อมบำรุงระบบน้ำมันหล่อลื่นของแบริ่งรับเพลาใบจักรให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเท่านั้น) และควรจัดทำบันทึกหรือลงปูมใว้เป็นประวัติการซ่อมทำด้วยทุกครั้ง ทั้งนี้การซ่อมบำรุงที่ถูกต้องช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและอันตรายร้ายแรงที่อาจจะมีแฝงอยู่ได้ จงเปรียบเทียบข้อมูลใหม่ที่ตรวจสอบได้กับข้อมูลเดิมในปูม ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ควรจดบันทึก เช่น อุณหภูมิใช้งาน ระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก ระยะหรือ Clearance ของแบริ่ง รวมทั้งข้อขัดข้องหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนหมุนหรืออุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆ ของแบริ่ง เป็นต้น

ตารางการซ่อมบำรุง

ระยะเวลา	การปฏิบัติซ่อมบำรุง
ทุกชั่วโมง,ขณะออกเรือ (UNDER WAY)	ตรวจสภาพการทำงานของแบริ่ง /ตรวจอุณหภูมิ /ตรวจปล๊ักเดรนน้ำมันหล่อลื่น ต้องให้แน่น
ยามทุกผลัด,ขณะออกเรือ	ตรวจการหมุนของ OIL RING ผ่านช่องตรวจ
ตามตาราง PMS	สุ่มตัวอย่างและการตรวจสภาพน้ำมันหล่อ
ทุกๆ ปี	วัดการสึกหรอของแบริ่งด้วย DEPTH GAGE ถ้าไม่มี DEPLH GAGE ให้ใช้ WIRE FEELER GAGE วัดจากทางด้ายปลายแบริ่ง
ทุกๆ ปี หรือ เร็วขึ้นเมื่อตรวจพบว่ามีน้ำหรือสิ่งสกปรกเจือปน	ทำความสะอาดถังพัก และเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่
ทุกๆ ปี	ตรวจการยึดแน่นของฐานแบริ่ง สลักต้องอยู่ในสภาพที่กวดแน่น
เมื่อแบริ่งชำรุด ที่สงสัยว่าน่าจะเกิดมาจากสาเหตุแบริ่งสึก หรือระบบน้ำมันหล่อลื่น หรือเพราะอุณหภูมิแบริ่งเป็นสาเหตุ	ถอด และตรวจสภาพภายในตัวเรือนแบริ่ง ถอดฝาครอบ และยกเปลือกแบริ่ง /ตรวจสภาพแบริ่ง

การซ่อมบำรุงแบริ่งรับเพลาใบจักร (Procedures) เมื่อไรก็ตามที่เปิดเรือนแบริ่งเพื่อตรวจสภาพส่วนประกอบภายในให้ปฏิบัติตามคู่มือหรือ pms ที่เกี่ยวข้อง แม้ว่าการปฏิบัติบางรายการอาจจะไม่จำเป็นนัก

ข้อควรระวัง

สลักหรือนัต (Fasteners) ที่มีอุปกรณ์ล็อกกันคลายตัวชนิดล็อคอัตโนมัติ (Self–Locking) ถ้าอุปกรณ์ล็อคดังกล่าวทำงานไม่สมบูรณ์ให้เปลี่ยนสลักหรือนัตใหม่ หรือซ่อมทำอุปกรณ์ล็อคด้วยชุดซ่อม (Nylon Inserts)

ก. ตรวจสอบอุปกรณ์ล็อกนัต-สลักกันคลาย
ข. ตรวจการเยื้องศูนย์ของแบริ่ง
ค. ตรวจสอบความผิดปกติของเปลือกแบริ่ง
ง. ตรวจสภาพการสัมผัสของแบริ่ง (Babbitt)
จ. ตรวจสอบผิวสัมผัสของฐานแบริ่ง
ฉ. ตรวจสอบ /ปรับแต่งให้ถูกต้อง (Calibration) ขีดแสดงระดับ นมล.ที่ไม้วัด
ช. ตรววจสภาพแหวนน้ำมันหรือจ่นน้ำมันและแผ่นกวาด
ซ. ตรวจสภาพช่องกวาดน้ำมัน (Oil Ring Guide)
ฌ. ตรวจสภาพเพลาใบจักร (บริเวณผิวสัมผัสกับแบริ่ง)
ฎ. ตรวจสภาพปิ้นล็อกแบริ่ง (Pivot Pint)
ฏ. ตรวจระยะแบริ่ง (Braring Clearnee)
ฐ. ตรวจทำความสะอาดพัดน้ำมันหล่อลื่น

7.2. น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil)

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานกับแบริ่งรับเพลาใบจักร ปกติจะเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้งานกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อื่นๆ ในระบบขับเคลื่อน ให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นตามที่คู่มือกำหนดเท่านั้น สิ่งปนเปื้อนที่ปนอยู่ใน น้ำมันหล่อลื่น เช่น น้ำ หรือของแข็งประเภทต่างๆ ซึ่งทั้ง 2 ประเภทมีผลต่อการทำงานของแบริ่งรับเพลาใบจักรทั้งสิ้น มีรายละเอียดดังนี้

7.2.1 น้ำมันหล่อลื่นมีน้ำปน (Water Contamination)

ความชื้นกลั่นตัวเป็นน้ำ (ขณะลดอุณหภูมิแบริ่ง) แล้วเกิดการสะสมอยู่ในถังพักน้ำมันหล่อลื่น อาจเป็นน้ำจืดหรือน้ำทะเลขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศ น้ำทำให้สูญเสียสภาพการเป็นฟิล์มระหว่างผิวสัมผัสของเพลาใบจักรและแบริ่ง และเป็นสาเหตุทำให้เกิดสนิม ซึ่งสนิมก็เป็นต้นเหตุที่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสิ่งปนเปื้อนมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการเกิด Tin Oxide บนผิวสัมผัสของแบริ่ง (Babbitt) ก็เพราะน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเช่นกัน

7.2.2. สิ่งปนเปื้อนของแข็ง (Solid Contamination)

ผงฝุ่น และสารละลายที่ปนอยู่ในอากาศสามารถเข้าไปในเรือนแบริ่งได้ และลงไปสะสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น ชนิดของสิ่งปนเปื้อนและอัตราการสะสมขึ้นอยู่กับสถานที่เทียบเรือและสภาพแวดล้อมของสถานที่นั้นๆ เช่น สภาพแวดล้อมในอู่ต่อเรือ หรือในห้องหม้อน้ำที่กำลังเปลี่ยนแผ่นอิฐทนไฟใหม่ เป็นต้น สถานที่ดังกล่าวมีสิ่งปนเปื้อนที่สามารถทำความเสียหายให้กับแบริ่งรับเพลาใบจักรได้

7.2.3. การตรวจน้ำมันหล่อ (Lubricating Oil Inspection)

การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นเพื่อนำไปตรวจ น้ำและตะกอนสิ่งสกปรก ถูกกำหนดเป็นตารางการปฏิบัติไว้ใน PMS หรือคู่มือแล้ว วิธีการตรวจน้ำมันหล่อลื่นให้ปฏิบัติตามคู่มือหรือส่งไปตรวจยังหน่วยที่เกี่ยวข้อง ถ้าผลการตรวจไม่ผ่านเกณฑ์ให้ทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น โดยเดรนน้ำมันหล่อลื่นในถังพักและทำความสะอาดก้นถัง แล้วจึงเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่

7.3. การทำความสะอาดถังพัก (Cleaning Oil Sump)

ถังพักน้ำมันหล่อลื่นของแบริ่งรับเพลาใบจักร (Oil Sump) ต้องปราศจากน้ำและสิ่งปกปรกต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อนเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก ควรทำความสะอาดด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

7.3.1. ใช้ผ้าสะอาดเช็ดบริเวณก้นถัง ตามมุมของถังพัก และบริเวณทั่วไปเหนือระดับน้ำมันหล่อลื่น
7.3.2. ถ้าต้องล้างถัง ให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นแบริ่งที่สะอาด และห้ามใช้น้ำมันหล่อลื่นล้างถังเติมใช้งาน

หมายเหตุ

ห้ามนำน้ำยาหรือวัตถุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนมาใช้ทำความสะอาดถังพักน้ำมันหล่อลื่น ถ้าสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็งไม่สามารถทำความสะอาดด้วยผ้าให้ใช้เครื่องมือขูดออก (Scrapers)

7.3.3. ต้องตรวจสอบความเรียบร้อยเมื่อทำความสะอาดแล้วเสร็จ เก็บผ้าหรือเครื่องมือและสิ่งทำความสะอาดอื่นๆ ออกไปจากถังให้เรียบร้อย ก่อนทำการปิดช่องตรวจหรือฝาครอบเรือนแบริ่ง

7.4. ไม้วัดระดับน้ำมันหล่อลื่น (Dipsticks)

แบริ่งรับเพลาใบจักรส่วนใหญ่ใช้ไม้วัดในการตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นในถังพัก มีรายละเอียดที่ควรทราบเกี่ยวกับไม้วัดระดับน้ำมันหล่อลื่น กล่าวคือ ขีดบอกระดับสูงสุดบนไม้วัด (Full) ต้องได้รับการปรับแต่ง (Calibrate) อย่างถูกต้องจากโรงงานผู้ผลิตแบริ่งรับเพลาแล้วเท่านั้น และไม่ควรมีการปรับแต่งใดๆ ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมันในถังพักเกิดขึ้น ทั้งนี้ไม้วัดน้ำมันหล่อลื่นในถังพักอาจเป็นที่มาของปัญหาทั้งหมดก็เป็นได้ สำหรับไม้วัดระดับที่ปรับแต่งไว้ใช้งานกับเรือนแบริ่งที่ติดตั้งไม้วัดไว้ด้านหน้าของตัวเรือน ถ้านำไปใช้กับตัวเรือนที่ติดตั้งไม้วัดไว้ด้านหลังอาจทำให้ระดับน้ำมันในถังพักไม่ถูกต้องก็ได้ ต้องจำไว้ว่าระดับน้ำมันหล่อลื่นสูงสุด (Full) ในถังพักไม่ถูกต้อง อาจทำให้แหวนน้ำมันหรือจานน้ำมันไม่ได้จมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

7.4.1 การนำไม้วัดระดับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานอยู่ต่างตัวเรือนแบริ่งมาใช้งาน อาจทำให้ระดับน้ำมันหล่อในถังพักไม่ถูกต้อง

7.4.2 ตัวเรือนแบริ่งที่ใช้ไม้วัดสอดผ่านท่อวัด (Tube) และท่อวัดติดตั้งกับตัวเรือนแบริ่งด้วยเกลียว การติดตั้งของท่อวัดในลักษณะดังกล่าวเป็นอันตราย ทั้งนี้เพราะท่อวัดอาจเกิดการหมุนและคลายตัวด้วยแรงสั่นสะเทือนหรือแรงเคาะด้วยเท้าเบาๆ ได้ เป็นเหตุทำให้น้ำมันหล่อลื่นรั่วและเกิดความเสียหายขึ้นได้

7.5.ปลั๊กเดรน (Lube Oil Drain Plug)

ท่อทางและปลั๊กเดรนน้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่กับฐานด้านหน้าหรือด้านหลังของเรือนแบริ่ง ปลั๊กเดรนมีโอกาสคลายตัวได้เนื่องจาก ความสั่นสะเทือน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นรั่วลงท้องเรือและเป็นสาเหตุทำให้แบริ่งชำรุด เหตุขัดข้องดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการกวดปลั๊กเดรนให้แน่น และมีการตรวจสอบตามระยะเวลา

ข้อควรระวัง

ถ้าระยะของแบริ่งน้อยกว่าการจดบันทึกไว้ครั้งสุดท้าย ต้องดำเนินการตรวจสอบ เพราะอาจเกิดจากสาเหตุแบริ่งเช็ด (Wiped Bearing)

7.6. ระยะแบริ่ง (Bearing Clearance)

ระยะที่อยู่ในเกณฑ์ใช้งานของแบริ่งที่ติดตั้งใหม่ หรือแบริ่งที่หล่อ Babbitt ใหม่นั้น ควรอยู่ในช่วงตามที่คู่มือกำหนดเท่านั้น และเมื่อแบริ่งมีระยะเพิ่มขึ้นเท่ากับระยะที่ต้องทำการเปลี่ยน (Bearing Replacement Clearance) ตามคู่มือ แบริ่งรับเพลาใบจักรดังกล่าวควรได้รับการถอด / ตรวจสอบและซ่อมทำตามความจำเป็น

การวัดระยะสึกหรอของแบริ่งรับเพลาใบจักรทำได้ 3 วิธี คือ วิธีใช้ลวดตะกั่ว (Lead Wire) หรือวัดด้วย Feeler Gages (วิธีปฏิบัติตามคู่มือ) หรือวัดไมโครมิเตอร์ (Depth Micrometer) ถ้าการวัดด้วยไมโครมิเตอร์พบว่าได้ระยะเท่าเดิม (ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากการวัดครั้งสุดท้ายที่มีการบันทึกไว้ในปูม) หรือไม่แน่ใจว่าการวัดด้วยไมโครมิเตอร์ได้ระยะถูกต้องหรือไม่ให้ทำการวัดซ้ำด้วยฟิลเลอร์เกจเพื่อยืนยันอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม การถอดตัวเรือนแบริ่งเพียงเพื่อต้องการวัดระยะ แบริ่งเท่านั้นเป็นสิ่งที่ไม่ควรทำ ซึ่งการวัดระยะแบริ่งด้วยวิธีลวดตะกั่ว (Lead Wire) เป็นวิธีวัดที่ต้องถอดเรือนแบริ่ง ดังนั้นให้ทำการวัด

ระยะของแบริ่งทุกครั้งที่มีการถอดตัวเรือนแบริ่ง (ไม่ว่าจะเป็นการถอดเพื่อทำสิ่งใดก็ตาม) รวมทั้งเป็นวิธีวัดเมื่อทำการปรับซ่อมใหญ่

Table 244–2–5. LINESHAFT BEARING CLEARANCES

	Design Clearance		
Journal Diameter (inches)	Newly Installed or Rebabbitted Bearing Minimum Acceptable Clearance (inch)	Newly Installed or Rebabbitted Bearing Maximum Acceptable Clearance (inch)	Bearing Replacement Clearance (inch)
5	0.008	0.012	0.019
6	0.010	0.014	0.022
7	0.011	0.015	0.025
8	0.012	0.016	0.028
9	0.013	0.017	0.030
10	0.015	0.021	0.033
11	0.016	0.022	0.036
12	0.017	0.023	0.038
13	0.018	0.024	0.040
14	0.020	0.026	0.042
15	0.021	0.029	0.044
16	0.022	0.030	0.046
17	0.023	0.031	0.047
18	0.024	0.032	0.049
19	0.025	0.033	0.051
20	0.027	0.036	0.052
21	0.028	0.038	0.054
22	0.029	0.039	0.055
23	0.030	0.040	0.056
24	0.031	0.042	0.058
25	0.032	0.043	0.059
26	0.033	0.044	0.060
27	0.034	0.045	0.061
28	0.035	0.046	0.062
29	0.036	0.048	0.063
30	0.037	0.050	0.064
NOTE: If a journal diameter does not match exactly to the diameter from the above table, use the next higher dimension.			

ตารางระยะแบริ่งรับเพลาใบจักร

ก. การวัดระยะสึกหรอของแบริ่งรับเพลาใบจักรด้วยไมโครมิเตอร์ (Depth Micrometer)

1. การอ่านไมโครมิเตอร์ (Depth Micrometer Reading)

ระยะของแบริ่งที่อ่านได้จากไมโครมิเตอร์เป็นระยะที่แบริ่งสึก

1.1. ด้านบนของตัวเรือนแบริ่งรับเพลาใบจักรส่วนมากได้เจาะรู (Hole) และปาดพื้นที่บริเวณรูนั้นให้เรียบสำหรับติดตั้ง Depth Micrometer (เรียกรูและบริเวณติดตั้งไมโครมิเตอร์ว่า Boss Machined) รูดังกล่าวถูกปิดไว้ด้วยลูกอุดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรก และต้องดูแลรักษาความสะอาดพื้นที่ที่ปาดเรียบให้ปราศจากสิ่งสกปรกหรือเป็นรอยสึกกร่อน เพื่อให้การติดตั้งและการอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์ถูกต้อง

1.2. ข้อมูลเริ่มต้นการใช้งานของแบริ่ง (A Depth Constant) ระยะ (Clearance) ของแบริ่งที่ติดตั้งใช้งานเรียบร้อยแล้ว (วัดด้วย Depth micrometer) และ วัน เดือน ปี ที่ทำการวัด (รวมเรียกข้อมูลนี้ว่า depth constant) จะถูกตอกให้ปรากฏไว้บนพื้นที่ปาดเรียบ หรือบริเวณพื้นที่ติดตั้ง Depth Micrometer บนตัวเรือนแบริ่ง วัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ /คำนวณระยะที่วัดได้ในครั้งต่อๆ ไป ระยะของแบริ่งที่เป็นข้อมูลปรากฏอยู่บนตัวเรือนแบริ่ง หรือ depth constant นี้ เป็นระยะของแบริ่งใหม่ หรือแบริ่งที่หล่อแบบบิทใหม่และต้องมีระยะการใช้งานตามที่ระบุไว้ในคู่มือเท่านั้น และการวัดระยะเริ่มต้นใช้งานของแบริ่งใหม่ หรือแบริ่งที่หล่อแบบบิทใหม่นี้ ควรวัดด้วยวิธีเส้นลวด (Lead Wire) ขณะทำการติดตั้ง

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อได้ติดตั้งแบริ่งเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการวัดระยะเริ่มต้นการใช้งานด้วย Depth Micrometer อีกครั้ง ขั้นตอนการปฏิบัติในการวัดระยะเพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นการใช้งานแบริ่งใหม่ ดังต่อไปนี้ (เมื่อติดตั้งแบริ่งใหม่แล้ว)

1. เลิกระบบน้ำมันหล่อลื่น (ถ้าเดินไว้)
2. วัดระยะแบริ่งด้วยฟิลเลอร์เกจ (Feeler Gages) ตรวจสภาพบริเวณหัว-ท้ายของเปลือกแบริ่งเพื่อให้แน่ใจว่าแบริ่ง (Babbitt) อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
3. ถ้าผลการวัดในขั้นตอนที่ 2 ได้ระยะของแบริ่งมากกว่าระยะในตารางระยะแบริ่งรับเพลาใบจักร (ในช่อง Bearing Replacement Clearance) หรือตามที่คู่มือกำหนด ให้เปลี่ยนแบริ่งใหม่
4. ใช้ Depth micrometer วัดระยะแบริ่งอีกครั้ง ระยะที่ได้จากการวัดด้วย Depth micrometer เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณ/เปรียบเทียบระยะการสึกหรอของแบริ่งในการวัดครั้งต่อๆ ไป ภายหลังจากการใช้งาน
5. ตอกข้อมูลแบริ่ง (ระยะของแบริ่งและ ว.ด.ป.ที่ทำการวัด /ข้อมูลการวัดจากขั้นตอนที่ 4) บนตัวเรือนแบริ่ง และนำข้อมูลนี้ลงบันทึกไว้ในปูมให้เรียบร้อย

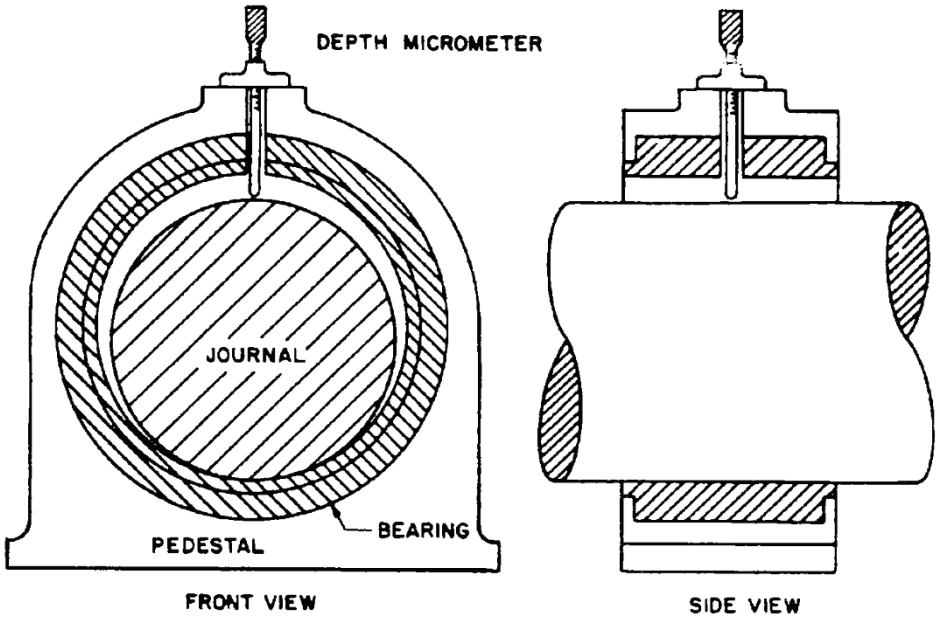
หมายเหตุ

ระยะของแบริ่งที่อ่านได้จากไมโครมิเตอร์ อาจจะได้รับผลกระทบมาจากอุณหภูมิของระบบปรับพิทช์ใบจักร ดังนั้นควรทำการวัดเมื่ออุณหภูมิ ของทั้ง 2 ระบบเท่ากัน

1.3. การวัดและอ่านระยะแบริ่งด้วย Depth micrometer

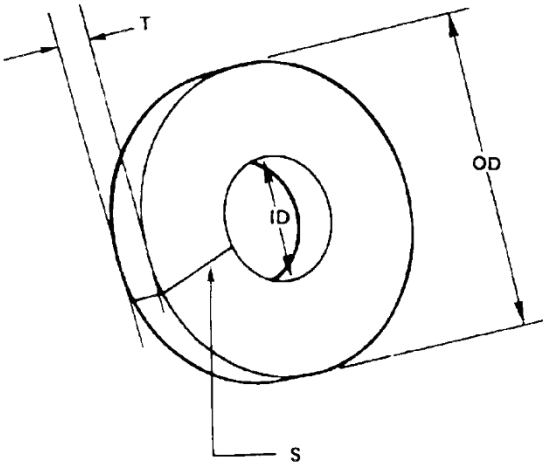
1. เลิกระบบน้ำมันหล่อลื่น
2. สอดก้าน Depth micrometer เข้ารูวัด จนฐานของไมโครมิเตอร์วางสัมผัสพื้นผิวปาดเรียบ (Boss Surface) ที่เตรียมไว้ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพื้นผิวปาดเรียบที่ติดตั้งไมโครมิเตอร์นั้นสะอาด ผิวไม่มีลอยขรุขระ และเรียบจริง แต่ถ้าบริเวณรูที่ติดตั้งไม่ได้มีการปาดให้พื้นผิวเรียบเตรียมไว้ หรือไม่แน่ใจว่าการอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์จะถูกต้องหรือไม่ ให้ปฏิบัติตามข้อ 1.4
3. หมุนเพลาไมโครมิเตอร์จนกระทั่งก้าน (ROD) ยืนลงไปสัมผัสเพลาใบจักร
4. อ่านค่าจากไมโครมิเตอร์
5. ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 หาค่าเฉลี่ยจากการวัดจำนวน 3 ครั้ง
6. ลบระยะที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 ออกจากระยะเริ่มต้นใช้งาน (Dept Constant) จะได้ระยะที่แบริ่งสึก

7. บันทึกค่าเฉลี่ย (จากขั้นตอนที่ 5) และระยะที่แบริ่งสึก (จากขั้นตอนที่ 6) ลงในปูมแบริ่งให้เรียบร้อย



Depth Micrometer Clearance Reading

1.4. ตัวเรือนแบริ่งที่ไม่มีพื้นผิวที่ปาดเรียบ (Boss) เตรียมไว้สำหรับติดตั้ง Depth Micrometer ค่าที่อ่านได้อาจคลาดเคลื่อน เพราะสภาพของสีที่ทาไว้ การเกิดสนิม รอยขรุขระ หรือความสกปรกที่อาจทำให้ขนาดของรูสอดผิดไปนั้น ซึ่งบริษัทผู้สร้างแบริ่งได้ทำแหวนรอง (Washer) สำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งแหวนรองนี้ประกอบรวมอยู่กับสลักยึดแบริ่ง (Pivot Pin)



OD - SLIGHTLY LESS THAN PIVOT PIN COLLAR DIAMETER
S - SCRIBE LINE. FOR USE ALINE WITH SCRIBE LINE ON CAP.
ID - SLIGHTLY LARGER DIAMETER THAN THAT OF DEPTH MICROMETER ROD
T - THICKNESS APPROX. 1/4 INCH

หมายเหตุ

เส้นผ่าศูนย์กลางของก้านไมโครมิเตอร์ (Rod Diameter) ควรจะมีขนาดใกล้เคียงหรือพอดีกับรูสอดที่เปลือกแบริ่ง แต่ถ้ารูสอดที่เปลือกแบริ่งมีขาดใหญ่กว่าก้านไมโครมิเตอร์ค่อนข้างมาก ให้ใช้ปลอกสวมก้าน (Insert Rod) สวมทับ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าค่าที่อ่านได้เป็นค่าจากศูนย์กลางของแบริ่ง รวมทั้งก้านของไมโครมิเตอร์ที่สอดอยู่ภายในปลอกสวมนั้นต้องอยู่ในสภาพอิสระไม่ขัดตัว และปลอกที่ใช้สวมนั้นจะต้องอยู่ในลักษณะตั้งตรงขนานกับรูที่สอดตลอดเวลา

ข้อควรระวัง

ถ้าค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่วัดและจดบันทึกไว้ไว้ครั้งสุดท้าย ให้ตรวจหาสาเหตุ ทั้งนี้อาจเกิดมาจากอาการแบริ่งเซ็ค (Wiped Bearing)

2. การวัดแบริ่งโดยวิธีใช้ลวดตะกั่ว (Bearing Clearance By Taking Leads)

ลวดตะกั่ว (Lead Wire) ถูกนำมาใช้งานในการวัดระยะการสึกของแบริ่ง ซึ่งเป็นวิธีวัดที่ต้องมีการถอดประกอบหรือเมื่อมีการปรับซ่อมใหญ่ทุกครั้ง

Depth Micrometer Washer

2.1. ขนาดของลวดตะกั่ว (Lead Wire Size)

ควรใช้ลวดตะกั่วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าระยะที่เหลือของแบริ่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (0.005-0.010 นิ้ว) ทั้งนี้ ถ้าใช้ลวดตะกั่วที่มีความหนามากกว่าระยะที่เหลือของแบริ่งมากเกินไป ขณะทำการวัดจะทำให้เกิดแรงดันที่ Babbitt มากและส่งผลไปถึงเปลือกแบริ่งอีกด้วย รวมทั้งทำให้ได้ค่าที่วัดผิดพลาด การที่จะให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นของขนาดของลวดตะกั่วที่ใช้วัดกระทำโดย ก่อนจะดำเนินการถอดแบริ่ง (ไม่ว่าด้วยวัตถุประสงค์สิ่งใด) ให้ทำการวัดระยะแบริ่งไว้ก่อน โดยการใช้ลวดวัด (Wire Feelers) สอดจากด้านท้ายของแบริ่ง เลือกขนาดของลวดที่จะใช้วัดให้ถูกต้องตามหลักการ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดวัดจากตารางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดนำ) วิธีและขั้นตอนการวัดระยะแบริ่งด้วยลวดตะกั่ว (Lead Wire) มีแนวทางดังต่อไปนี้

ตารางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดนำ (LEAD WIRE DIAMETERS)

National Stock Number	Diameter (inch)
9525–277–6036	0.010
9525–277–6037	0.015
9525–277–6038	0.020
9525–277–6039	0.025
9525–277–6040	0.028
9525–277–6041	0.032
9525–277–6043	0.040
9525–277–6045	0.049
9525–277–6047	0.065
9525–277–6050	0.134

1. ถอดเปลือกแบริ่งฝาบน

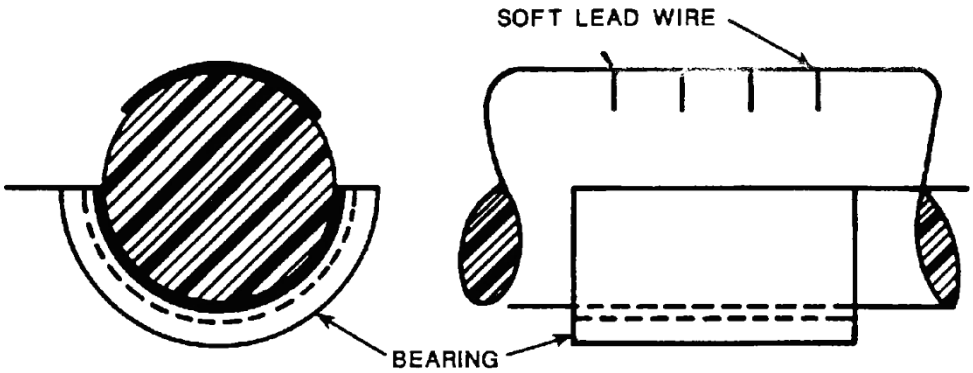
2. วางลวดวัดชนิดอ่อน (ลวดตะกั่วบริสุทธิ์) บนผิวเพลาใบจักรบริเวณที่ติดตั้งแบริ่ง จำนวน 4 เส้น (ห้ามใช้ลวดฟิวส์หรือลวดตะกั่วบัดกรีทุกชนิด) ปรับแต่งเส้นลวดวัด ให้มีระยะสัมผัสกับ Babbitt อยู่ภายในเปลือกแบริ่งบน

3. ประกอบเปลือกแบริ่งบนเข้าที่เดิม ต้องระวังเป็นพิเศษไม่ให้ชุดแหวนกันน้ำมันชำรุด

4. กวดสลักยึดเปลือกแบริ่งบน โดยใช้น้ำหนักในการกวด ตามตารางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดนำ

5. ถอดเปลือกแบริ่งบน เมื่อปฏิบัติขั้นตอนที่ 4 แล้วเสร็จ

6. นำลวดตะกั่วออกจากเพลาใบจักร และนำไปวางลงบนกระดาษ โดยจัดลักษณะการวางลวดทั้ง 4 เส้น เหมือนกับการวางอยู่บนเพลา (ในขั้นตอนที่ 2)



2.2. การวิเคราะห์ลวดวัด (Lead Wire Examination)

Placing Lead Wires for Reading Bearing Clearance

ตรวจสภาพการถูกบีบของลวดวัด ถ้าลวดทุกเส้นถูกบีบให้มีขนาดเท่ากันตลอดความยาว แสดงว่าการสึกหรอของแบริ่งปกติ แต่ถ้าตะกั่วทั้ง 4 เส้น มีขนาดออกมาไม่เท่ากัน (ความหนา-บาง) แสดงว่าการสึกหรอของแบริ่งผิดปกติ (อาจเป็นเพราะน้ำหนักหรือแรงที่กระทำลงไปบนแบริ่งแต่ละจุดไม่เท่ากัน)

2.3. วัดความหนาของลวดแต่ละเส้นด้วยไมโครมิเตอร์ (วัดให้ตลอดทั้งความยาว) เพื่อให้รู้ถึงระยะการสึกของแบริ่งทุกจุด ตะกั่วที่มีความหนาไม่เท่ากันแสดงว่าผิวสัมผัสของแบริ่งไม่สม่ำเสมอ หรือไม่เรียบ (เกิดจากการสึกไม่เท่ากัน) แบริ่งรับเพลาที่มีผลการวัดในลักษณะดังกล่าวควรได้รับการปรับซ่อมให้มีระยะการสึกหรอที่แบริ่งเท่ากันทุกจุด (Uniform Clearance)

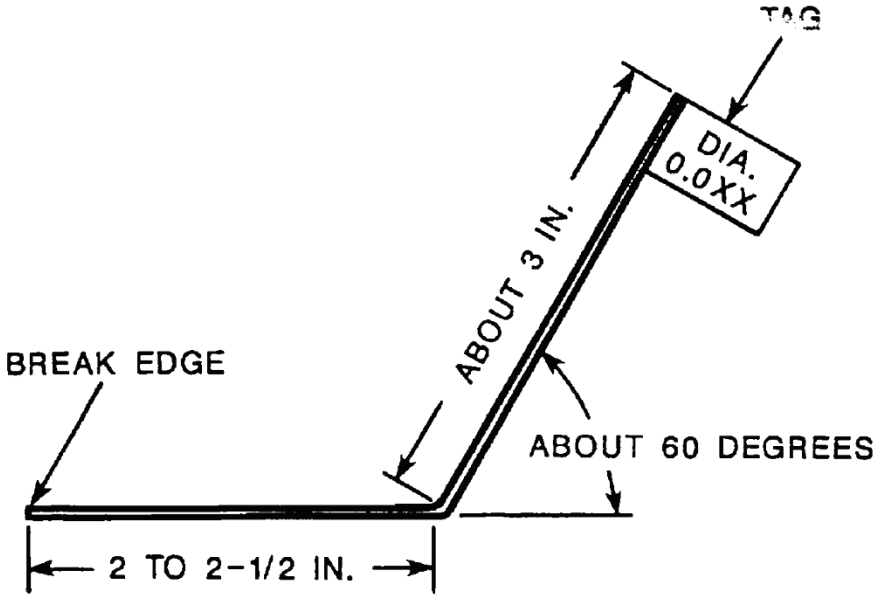
ตารางแสดงน้ำหนักขนาดสลักและแรงในการกวดแบริ่ง (BEARING SHELL PARTING-LINE BOLT TORQUES)

Bolt Size (inches)	Torque Dry (lb–ft)
5/16	11
3/8	19
1/2	45
5/8	93
3/4	150
7/8	202
1	300
1–1/8	474
1–1/4	659
1–3/8	884

3. การวัดระยะแบริ่งด้วยฟิลเลอร์เกจ (Bearing Clearance By Feeler Gage)

ฟิลเลอร์เกจ ชนิด Wire Feeler Gage เป็นเครื่องมือวัดอีกชนิดหนึ่งที่ใช้วัดระยะแบริ่งเพลาใบจักร (หรืออาจใช้ Flat Feeler Gage แทนก็ได้) เป็นเครื่องเมือวัดที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชิ้น คือ Feeler Blade และ Wire Gage

การเตรียมฟิลเลอร์เกจใช้งาน กล่าวคือ เลือกชุด Wire Feeler Gage ที่ต้องการใช้ (ชนิดทำด้วยเหล็กหรือทองเหลือง) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด (Wire Dai.) จะมีขนาดตั้งแต่น้อยกว่าระยะที่ออกแบบถึงระยะสูงสุดของแบริ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ เมื่อเลือกชุด Wire Feeler Gage ได้แล้ว ขั้นตอนการปฏิบัติในการวัด ระยะแบริ่ง ดังต่อไปนี้



ข้อควรระวัง

ห้ามคลาย หรือถอดจานน้ำมัน ถ้าเป็นแบริ่งกันรุนเพลาใบจักรชนิด Disk – Oil Bearing

1. ถอดฝาปิดด้านข้างตัวเรือนแบริ่ง และถอดแหวนกันน้ำมัน (Oil Slinger) เลื่อนออกมาจากบริเวณที่จะวัด 6 นิ้ว (ถ้าติดตั้ง)

2. การวัดระยะให้วัดทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแบริ่ง

3. ต้องแน่ใจว่าส่วนประกอบของแบริ่งอยู่ในสภาพที่สะอาด ไม่มีสิ่งสกปรกหรือมีเครื่องมือช่างลืมทิ้งไว้ภายในตัวเรือนแบริ่ง

4. ถ้าใช้เครื่องมือวัดชนิด Wire Feeler Gage ให้เลือกลวดที่มีขนาด 0.002 - 0.008นิ้ว (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดต้องน้อยกว่าระยะแบริ่ง) วิธีการปฏิบัติในการวัดคือ สอดลวด (Wire Gage) จากปลายแบริ่ง ตำแหน่ง 12 นาฬิกา ลึกประมาณ 1½ นิ้ว แล้วดึงเส้นลวดให้สัมผัสกับเปลือกแบริ่งไว้ตลอดเวลา จากนั้นสอด Feeler Blade เข้าไประหว่างลวดและ

Wire Feeler Gage Set

เพลาใบจักร ระยะของแบริ่ง คือ ผลบวกของเส้นผ่าศูนย์กลางลวดและความหนาของ Feeler Blade

5. ถ้าใช้ฟิลเลอร์เกจ แบบ Flat Feeler Gage วิธีปฏิบัติคือ เลือกฟิลเลอร์เกจที่มีความหนาพอดี (Fit Snugly) สอดระหว่างเพลาใบจักรและเปลือกแบริ่ง ตำแหน่ง 12 นาฬิกา ความหนาของฟิลเลอร์เกจเป็นระยะของแบริ่ง

6. ประกอบชิ้นส่วนของตัวเรือนแบริ่งที่ถอดเข้าที่เดิม

7.7. การชำรุดที่เกิดจากประกอบแบริ่งไม่ถูกต้อง (Misassemble Damage)

ความเสียหายที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจนในทันทีที่เริ่มใช้งาน โดยแสดงอาการด้วยแบริ่งเช็ดและอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ อาจเกิดจากการประกอบชิ้นส่วนของแบริ่งไม่ถูกต้อง ตัวอย่างความผิดพลาดที่ทำให้ความเสียหายดังกล่าว เช่น

ก. ประกอบเปลือกแบริ่ง (Shell) หรือแบริ่งกลับด้าน (End To end) หรือประกอบเปลือกแบริ่งสลับข้างกัน วิธีการแก้ไขคือ ควรตรวจสอบมาร์ค (Match Mark) ที่ปรากฏอยู่บนชิ้นส่วนให้ถูกต้อง หรือถ้าชิ้นส่วนใดไม่มีมาร์คบอกไว้ ขอแนะนำให้ทำขึ้นมาใหม่ด้วยน้ำหมึกหรือเหล็กตอกชนิดต่างๆ ก็ได้ แต่ต้องไม่ทำให้เกิดการชำรุดกับส่วนประกอบแบริ่ง

ข. ใส่สลักแบริ่งผิดตำแหน่ง หรือผิดขนาด

ค. ใช้น้ำหนักกวดสลักไม่ถูกต้อง

7.8. การถอดเปลือกแบริ่ง (Rolling Out A Bearing Shell)

การถอดแบริ่ง ออกจากตัวเรือนกันรุนเพลาใบจักรเป็นงานที่ค่อนข้างยากเพราะ ส่วนประกอบต่างๆ มีขนาดใหญ่หนักและยกยาก ทำให้รู้สึกว่าเป็นงานอันตรายถ้าไม่รู้วิธีการปฏิบัติและการป้องกันที่ถูกต้อง

ข้อควรระวัง

ระวังการชำรุดที่อาจจะเกิดขึ้นกับผิวสัมผัสของแบริ่งและฐานปรับศูนย์ (Bearing and Spherical Surface)

1. เมื่อถอดสลักฝาครอบเรือนแบริ่งเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปให้ติดตั้งสลักยก (Jack Bolts) แล้วหมุนสลักยกจนกระทั่งฝาครอบเรือนแบริ่งบนเริ่มขยับตัวและแยกออกจากกัน ติดตั้งห่วงยก (Eyebolt) ที่ฝาครอบเรือนแบริ่งเตรียมการยกฝาครอบเรือนแบริ่งบน ถ้าที่ฝาครอบเรือนแบริ่งบนไม่มีรูสำหรับติดตั้งห่วงยก ให้ใช้รูสลักทั้ง 4 มุม แทนก็ได้

2. แขวนลอก ยกฝาครอบเรือนแบริ่งบน นำลงมาวางไว้บนไม้รองบนพื้นดาดฟ้า ต่อจากนั้นเตรียมการถอดเปลือกแบริ่ง (Bearing Shell)

3. ถอดสลัก /ติดตั้งห่วงยกเปลือกแบริ่งบน แล้วยกเปลือกแบริ่งบนออกจากเรือนแบริ่งด้วยเชือกและลอกแขวน (ตรวจสอบเชือกให้เหมาะสมกับภาระ) เตรียมการถอดแบริ่งล่าง (Lower Shell) วิธีการและขั้นตอนต่างๆ กล่าวคือก่อนที่จะถอดเปลือกแบริ่งหรือแบริ่งล่างได้นั้น จะต้องทำการยกเพลาใบจักรเพื่อถ่ายน้ำหนักที่กดทับอยู่บนแบริ่งล่างออกไปก่อน ซึ่งการยกเพลาใบจักร ต้องยกให้สูงขึ้นจนเกิดช่องว่างระหว่างของแบริ่ง (End Bearing) และศูนย์กลางต่ำสุดของเพลาใบจักรประมาณ 0.005 - 0.008 นิ้ว ทั้งนี้ถ้าช่องว่างมีน้อยเกินไป เปลือกแบริ่งจะยังหมุนออกไม่ได้ แต่ถ้าระยะมากเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดปัญหาเปลือกแบริ่งติดขัดอยู่ด้านบน (ถอดไม่ออก) แม้ว่าเปลือกแบริ่งจะหมุนขึ้นมาอยู่ด้านบนของเพลาใบจักรได้แล้วก็ตาม

4. เมื่อใช้รอกยกเพลาใบจักรขึ้นจนได้ระยะแล้ว ให้หมุนเปลือกแบริ่งล่างขึ้นไปด้านบนของเพลาใบจักร

หมายเหตุ

ให้ใช้ความระมัดระวังเมื่อหมุนเปลือกแบริ่ง แรงที่ใช้หมุนมาจากหลายวิธี เช่น ใช้ค้อนตอกไปบนไม้ที่ดันอยู่บริเวณขอบเปลือกแบริ่งด้านใดด้านหนึ่ง หรือ ใช้วัสดุเป็นแท่งทำเป็นคาน (Lever) งัดระหว่างขอบเปลือกและตัวเรือนแบริ่ง หรืออาจจะใช้รอกดึงผ่านห่วงยกที่ติดตั้งกับรูสลักยึดเรือนแบริ่งด้านใดด้านหนึ่ง

5. เพื่อป้องกันเปลือกแบริ่งชำรุดหรืออาจเป็นอันตรายต่อบุคคล ให้ใช้ไม้ท่อนสี่เหลี่ยมวางทับเหนือบริเวณเปลือกแบริ่งที่หมุนออก (ด้านตรงข้ามแรงตอก) ทั้งนี้ เพราะการตอก การงัด หรือการดึงด้วยเครื่องมือต่างๆ อาจใช้แรงมากเกินไป (เนื่องจากความต้านทานในการหมุน) จนเปลือกแบริ่งหมุนและหลุดกระเด็นออกไปจากภายนอกตัวเรือน ถ้าไม่มีไม้มาวางป้องกันไว้

7.9. ลักษณะการสัมผัสของแบริ่ง (Bearing Contact Patterns)

การสึกหรอที่ปรากฏอยู่บนแผ่นผิวสัมผัสของแบริ่งรับเพลาใบจักร แสดงให้รู้ถึงสภาพการใช้งาน และสภาพที่เกิดจากการเยื้องศูนย์

1. ลักษณะการสึกหรอที่เกิดจากการทำงานปกติ พื้นที่ของรอยเสียดสีที่เกิดบนผิวสัมผัส (Babbitt) ของเปลือกแบริ่งล่างจะมีลักษณะแผ่ขยายอย่างเป็นรูปแบบตลอดความยาวของแบริ่ง และอยู่ในศูนย์ตายล่าง โดยมีพื้นที่ประมาณ 20 – 60 ของพื้นที่ผิวโค้งทั้งหมดของแบริ่ง เรียกพื้นที่ดังกล่าวว่า พื้นที่ผิวสัมผัส (Contact Area) พื้นที่ผิวสัมผัสที่แสดงถึงการทำงานปกติที่ปรากฏอยู่บนแบริ่ง (Babbitt) ล่าง (Lower Bearing Shell) สำหรับแบริ่งบน (Upper Shell) ไม่ควรมีรอยสัมผัสเกิดขึ้น

2. พื้นที่เป็นรอยเสียดสีในลักษณะเป็นทางตรงตลอดความยาวของแบริ่งล่างนั้น แสดงถึงบริเวณที่ทำงานหนัก (รับน้ำหนักเพลา หรือแรงกดตลอดเวลา) ซึ่งเกิดในแบริ่งรุ่นเก่าๆ

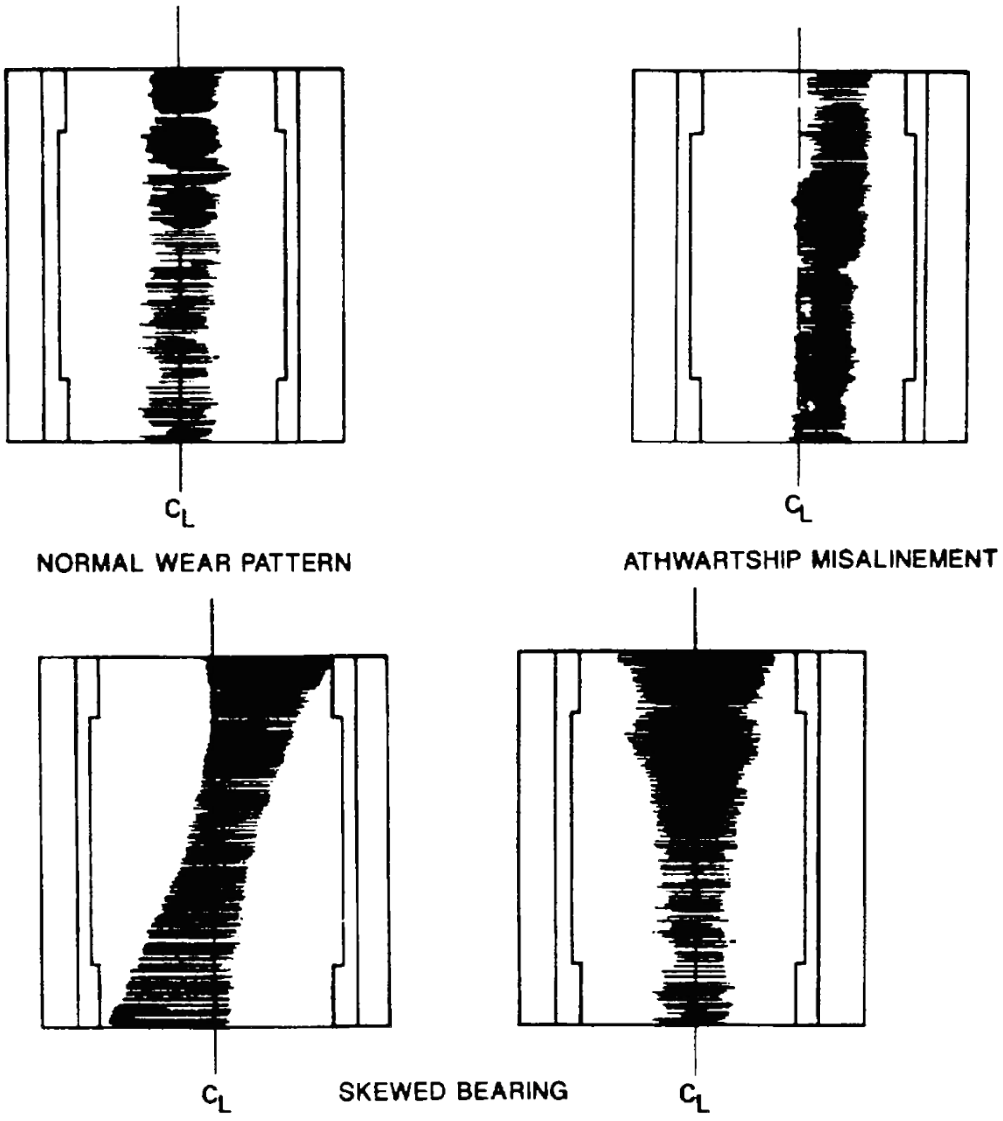
3. รอยขัดสีที่เกิดเป็นบริเวณกว้างเฉพาะที่ศูนย์กลางแบริ่ง ไม่ได้ขยายพื้นที่ไปบริเวณปลายหัว-ท้าย แสดงว่าตรงกลางเป็นเนินสูง (High) หรือในลักษณะตรงกันข้าม ถ้ารอยขัดสีเป็นบริเวณกว้างเกิดอยู่เฉพาะบริเวณปลายแบริ่งแต่ตรงกลางเป็นรอยสึกปกติ เรียกลักษณะการสึกดังกล่าวว่า Skewed Bearing (หรือรอยขัดสีเป็นบริเวณกว้างที่เกิดขึ้นบนซีกหนึ่งของปลาย และเกิดกับอีกซีกหนึ่งของปลายตรงข้าม) หรือมีรอยขัดสีเกิดขึ้นที่ปลายแบริ่งบน (ปกติไม่ควรเกิด) แสดงว่าแบริ่งเกิดการเยื้องศูนย์และต้องทำการหาศูนย์ใหม่

4. การเยื้องศูนย์ด้านข้าง (Athwart Ship Misalignment) เกิดขึ้นเมื่อแนวศูนย์กลางของเพลาใบจักรไม่ได้อยู่ในแนวศูนย์กลางของแบริ่ง แต่เยื้องไปด้านใดด้านหนึ่ง (Athwart Ship) หรือเกิดเมื่อเพลาใบจักรอยู่ในตำแหน่งกราบขวาหรือกราบซ้ายของแบริ่งรับเพลาใบจักร

5. ไม่มีรอยสัมผัสที่แบริ่ง (No Contact) แสดงว่าแบริ่งไม่ได้รับภาระ ต้องทำการหาศูนย์เพลาใบจักรในทางตั้งใหม่

6. ลักษณะของการสัมผัสที่ปรากฏอยู่บนแบริ่ง เป็นแนวทางสำคัญในการวิเคราะห์สาเหตุ และการแก้ไขปัญหาที่เกิดกับแบริ่งรับเพลาใบจักร เช่น แบริ่งมีอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ แบริ่งเช็ด และเกิดการเยื้องศูนย์ เป็นต้น ซึ่งโดยปกติจะพบว่าการสัมผัสกันระหว่างแบริ่ง (ตัวล่าง) และเพลาใบจักรจนเกิดเป็นรอยสึกในลักษณะต่างๆ นั้น เกิดเมื่อเพลาใบจักรหมุนรอบต่ำด้วยมอเตอร์ (Jacking Motor) หรือเมื่อเริ่มสั่งจักรและหยุดเครื่อง ทั้งนี้ เนื่องจากไม่มีน้ำมันหล่อลื่นหรือมีน้อยไม่เพียงพอที่จะเป็นฟิล์มคั่นระหว่างผิวสัมผัสของแบริ่งและเพลาใบจักรได้ และด้วยเพราะเหตุผลตามหน้าที่ของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น (รับภาระที่ผิวสัมผัสแบริ่ง) ดังนั้น รูปแบบหรือรอยที่เกิดจากการเสียดสีที่เกิดขึ้นจึงเป็นสัญลักษณ์ของการรับภาระที่ไม่เท่ากัน

7. ไม่ควรใช้รูปแบบของการสัมผัสเป็นบรรทัดในการพิจารณาสาเหตุ รวมทั้งเกณฑ์ยอมรับหรือไม่ยอมรับสภาพทีเกิดกับแบริ่ง ถ้าไม่พิจารณาปัญหาหรือร่องรอยอื่นๆ ที่ตรวจพบ (เช่น เป็นรอยด่างที่ Babbitt หรือเกิดรอยไหม้) ดังนั้น ถ้ามีสภาพอื่นๆ ดังกล่าวร่วมอยู่ด้วยแล้ว ให้พิจารณาสาเหตุโดยรวม หรือภาพรวมของสาเหตุทั้งหมด



Lower Shell Contact Patterns

7.10. การตรวจสอบแบบบิท (Bearing Babbitt Inspection)

การตรวจสอบทั่วไปและผิวสัมผัสของแบริ่งล่าง (Low Half Bearing Shell) เป็นการตรวจสภาพการสึกหรอของ Babbitt ที่เกิดจากการขัดสี

1. ลักษณะการสึกของ Babbitt ที่เป็นร่องบางๆ หรือรอยสึกที่เกิดจากอาการแบริ่งเซ็ดที่เกิดเฉพาะที่ (ขัดเงาเป็นจุดๆ) ยังพอรับได้ (พอใช้ราชการได้) แต่ถ้าต้องการหล่อ Babbitt ใหม่ก็ทำได้

2. สภาพที่สมควรได้รับการซ่อมทำ คือ รอยสึกเป็นร่องที่เกิดจากอาการแบริ่งเซ็ด ผิวสัมผัสไม่เรียบ เป็นหลุม มีรอยแตกร้าว มีสิ่งสกปรกฝังอยู่ในผิวสัมผัสของ Babbitt อาการหลวมหรือหลุดออกของ Babbitt และอาการเปลี่ยนสีจากสีเทาเป็นสีดำที่เกิดจากขบวนการกัดกร่อนหรือสนิม การแก้ไขโดยซ่อมทำหรือเปลี่ยนแบริ่งใหม่ (ถ้าเป็นแบริ่งชนิดมีเปลือกแบริ่ง (Bearing Shell) สามารถหล่อ Babbitt ได้ แต่ถ้าเป็น แบริ่งชนิด Bearing Insert หล่อ Babbitt ไม่ได้)

7.11. การหาศูนย์แบริ่งรับเพลาใบจักร (Line Shaft Bearing Alignment)

การหาศูนย์กระทำได้ 3 แบบ จะเลือกใช้แบบใดขึ้นอยู่กับผลการตรวจสภาพแบริ่งขณะทำการซ่อมบำรุง มีรายละเอียดดังนี้

ข้อควรระวัง

ไม่ควรนำอุปกรณ์ที่ทำจากพลาสติกมาเสริมฐานแบริ่งเพื่อปรับศูนย์แบริ่งให้ใช้งานได้ ทั้งนี้เพราะ 95% ของความร้อนจากแบริ่งจะถูกถ่ายทอดไปสู่ฐาน (พลาสติกเป็นวัสดุที่เป็นสื่อนำความร้อนชนิดเลว) อาจทำให้เกิดอาการแบริ่งร้อนได้

1. การหาศูนย์ในทิศทางตั้งตรง (Vertical Alignment)

เป็นการหาศูนย์ด้วยวิธีปรับระดับของแบริ่งให้ สูง-ต่ำ สัมพันธ์กับตำแหน่งของเพลาใบจักร เพราะด้วยสาเหตุสำคัญที่ว่า ตำแหน่งแบริ่งที่ไม่ได้ศูนย์ (สูง-ต่ำ เกินไป) อาจทำให้แบริ่งรับภาระเกินไป (Over Load) หรืออาจทำให้เกิดอาการแบริ่งเช็ด (Wipe) การวัดศูนย์ประเภทนี้วัดได้ 2 วิธี คือ ใช้แม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) หรือโดยวิธีหาค่า gap และ sag ขั้นตอนการหาศูนย์ในแนวตั้ง (Vertical Alignment) ศึกษาได้ในหัวข้อวิชาระบบเพลาใบจักร (Propulsion Shafting)

2. การหาศูนย์ทางด้านข้าง (Athwartship Alignment) (เป็นการหาศูนย์แบบที่ 2)

การปฏิบัติโดยใช้ฟิลเลอร์เกจสอดวัดระยะระหว่างเพลาใบจักรและแบริ่งทั้งด้านกราบขวาและกราบซ้าย รวมทั้งด้านหน้าและหลัง แล้วทำการเปรียบเทียบ ค่าทางด้านกราบขวาและกราบซ้ายจะต้องไม่น้อยกว่า 25% ของ Diametral Clearance การปรับศูนย์ด้านข้างกระทำโดยเลื่อนแบริ่งไปทางกราบขวาหรือกราบซ้าย

3. การหาศูนย์ที่เกิดจากการบิดตัวของแบริ่ง (Skewed Alignment) (การหาศูนย์แบบที่ 3)

เป็นการปรับแก้การผิดศูนย์ที่เกิดจากการบิดตัวของแบริ่งรับเพลาที่มีสาเหตุมาจากความผิดปกติของฐานปรับระยะได้เอง (spherical หรือ knuckle) ความผิดปกติดังกล่าว เช่น เกิดการกัดกร่อนที่ผิวสัมผัสของฐานขณะใช้งาน หรือการกวดฐานแบริ่งแน่นเกินไป เป็นต้น ทำให้แบริ่งเกิดการบิดตัวและไม่อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางเพลาใบจักร เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ การบิดตัวแนวนอน (Horizontal Skewing) การตรวจพบโดย เมื่อถอดแบริ่งอาจจะพบรอยสึกที่เกิดจากการเสียดสีอย่างผิดปกติอยู่บริเวณปรายแบริ่งด้านตรงข้ามกันหรือเมื่อใช้ฟิลเลอร์เกจสอดวัดระยะที่ปลายแบริ่งด้านเดียวกันทั้ง 2 ข้าง จะพบว่ามีระยะมากน้อยกว่ากันเกิน 10% การแก้ไขด้วยการปรับระยะในแนวนอนของแบริ่ง โดยใช้รอกไฮดรอลิกส์ยกเพลาใบจักร และปรับแต่งระยะด้านข้าง (Side Clearance) จนได้ตามเกณฑ์ และการบิดตัวในทางตั้ง (Vertical Skewing) การตรวจพบโดย เมื่อถอดแบริ่งอาจจะพบรอยสึกที่เกิดจากการเสียดสีอย่างผิดปกติที่บริเวณปลายแบริ่งด้านใดด้านหนึ่งซึ่งความผิดปกติในทางตั้งนี้ แบริ่งจะปรับตัวได้เองเมื่อทำให้แรงกดจากเพลาใบจักรน้อยลงด้วยการใช้ลอดไฮดรอลิกส์ยกเพลาใบจักร ขึ้น-ลง หลายๆ ครั้ง

7.12. แบริ่งบีบตัวหรือแบริ่งโค้ง (Bearing Pinch or Warp)

การบีบตัว (Pinch) หมายถึง สภาพแบริ่ง บน-ล่าง ไม่เป็นทรงกลม (Out-of-Round) รู้ได้โดยเมื่อวัดรอยต่อชนของแบริ่ง บน-ล่าง จะได้ระยะน้อยลงหรือได้ระยะไม่เท่ากัน ส่วนแบริ่งโค้ง (Warp) ไม่มีวิธีการตรวจสอบ (แต่สามารถรู้ได้จากรูปแบบของการสึกของแบริ่ง) แต่ทั้งแบริ่งบีบตัวและแบริ่งโค้งอาจเกิดจากขนาดของแบบบิทไม่ถูกต้อง หรือเปลือกแบริ่ง บน-ล่าง ไม่พอดีกัน (ขนาดไม่เท่ากัน) การแก้ไขโดยเปลี่ยนใหม่ ซึ่งอาการบีบตัวของแบริ่งบางลักษณะอาจแก้ไขได้โดยการหล่อแบบบิทแล้วคว้านใหม่ (Reboring)

7.13**. การตรวจสอบศูนย์แบริ่งรับเพลาใบจักรชนิดแหวนน้ำมัน (Ring-Oil Bearing Alignment Inspection)**

การตรวจสอบสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถอดออกหรือเลื่อนฝาปิดท้าย (End Cover)
2. คลายวงแหวนกัน นมล. (Oil Slinger Ring) และเลื่อนถอยหลังไปประมาณ 6 นิ้ว

3. ตรวจสอบตำแหน่งเพลา (Journal Position) โดยสอดฟิลเลอร์เกจขนาด 0.002 นิ้ว ลึกอย่างน้อย 2 นิ้ว เข้าไประหว่างเพลาใบจักรและแบริ่ง แล้วใช้ปากกาทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของฟิลเลอร์เกจไว้ที่เปลือกแบริ่ง

หมายเหตุ

สภาพที่ยอมรับได้คือ ตำแหน่งใกล้เคียงกันของฟิลเลอร์เกจขนาด 0.002 นิ้ว ระหว่างเพลาใบจักรและแบริ่ง ทั้งกราบขวาและกราบซ้าย ด้านหน้าและด้านหลัง โดยที่เพลาใบจักรวางสัมผัสอยู่กับส่วนล่างของแบริ่ง และ ตำแหน่งของฟิลเลอร์เกจระหว่างแบริ่งและเพลาใบจักรอยู่ที่ 45 องศา (หรือมากกว่า) จากจุดที่เป็นรอยต่อของแบริ่งฝาบน-ล่าง การตรวจพบในลักษณะอื่นๆ ที่ผิดไปจากที่กล่าวนี้ แสดงว่าสภาพของแบริ่งไม่ถูกต้อง

4. ตรวจสอบระยะและการบีบตัวที่รอยต่อแบริ่งด้วยฟิลเลอร์เกจ โดยวัดตรงที่บริเวณปลายทั้ง 2 ด้าน บน-ล่าง

หมายเหตุ

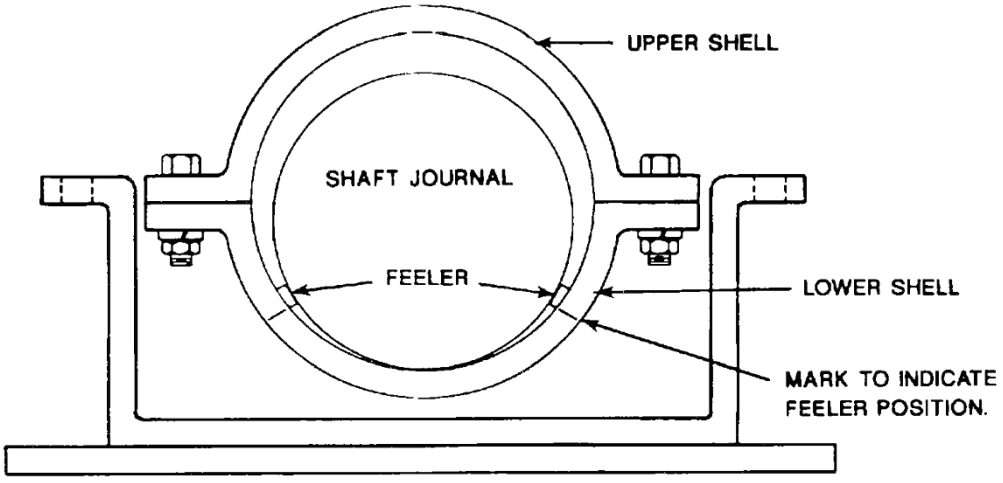
ระยะที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ต้องไม่เกิน 0.003 นิ้ว

5. เดินระบบน้ำมันหล่อหมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร และหมุนเพลาใบจักร ¼ รอบ ด้วยอุปกรณ์หมุน (Turning Gear)

6. เริ่มการวัดซ้ำด้วยขั้นตอนที่ 1

หมายเหตุ

ตำแหน่งของฟิลเลอร์เกจ ควรเป็นตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียงกันกับการวัดครั้งแรก ถ้าตำแหน่งเปลี่ยนไปให้ทำการวัดใหม่โดยหมุนเพลาใบจักรอีก ¾ รอบ แล้วเริ่มการวัดในขั้นตอนที่ 1 ด้วยฟิลเลอร์เกจที่มีขนาดใหญ่กว่า และเปลี่ยนตำแหน่งการวัด เมื่อวัดเสร็จให้หมุนเพลา ¼ รอบ แล้ววัดซ้ำ ถ้าผลการวัดครั้งนี้ตำแหน่งเปลี่ยนไปอีก แสดงว่าเพลาใบจักรคด (Shaft Bent) ให้ตรวจสอบศูนย์เพลาใบจักร



Ring-Oiled Bearing Feeler Positions

7.14. การติดตั้งแหวนน้ำมันแบริ่งรับเพลาใบจักร (Ring–Oil Bearing Shaft Installation)

ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแบริ่ง (เปลือกแบริ่ง) ติดตั้งอย่างถูกต้องหรือถูกด้าน แล้วเริ่มขั้นตอนการวัดกล่าวคือ วัดระยะห่างจากศูนย์กลางบนของวงแหวนบนด้านหน้าถึงผิวสัมผัสแบริ่ง ต่อจากนั้นวัดด้วยวิธีการเดียวกับวงแหวนด้านหลัง ระยะที่วัดได้จากด้านหน้าควรมีศูนย์กลางที่สั้นกว่า เนื่องจากการติดตั้งเพลาใบจักรที่มีลักษณะเอียงลาด (Shaft Rake)

7.15. การตรวจสอบศูนย์แบริ่งรับเพลาใบจักรชนิดจานน้ำมัน (Disk-Oil Bearing Alignment Inspection)

วิธีการตรวจโดยทั่วไปเหมือนกับการตรวจสอบศูนย์แบริ่งรับเพลาใบจักรชนิดแหวนน้ำมัน ยกเว้นไม่ต้องถอดและเลื่อนจานน้ำมันออกไปตามเพลาใบจักร ทั้งนี้เพราะสามารถวัดระยะปลายต่อชน (Pinch)ได้โดยไม่ต้องเลื่อนจานน้ำมันออกไป (แบริ่งรับเพลาชนิดแหวนน้ำมันต้องถอดและเลื่อนแหวนน้ำมัน) ขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ถอดฝาครอบเปลือกแบริ่งบน
2. สอดฟิลเลอร์เกจระหว่างเปลือกแบริ่งและเพลาใบจักรวัดทั้งด้านหน้าและด้านท้าย กราบขวา-ซ้าย
3. วัดระยะของรอยต่อระหว่างแบริ่งฝาบน-ล่าง (Bearing Pinch)

หมายเหตุ

ระยะแบริ่งที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ 0.003 นิ้ว

หมายเหตุ

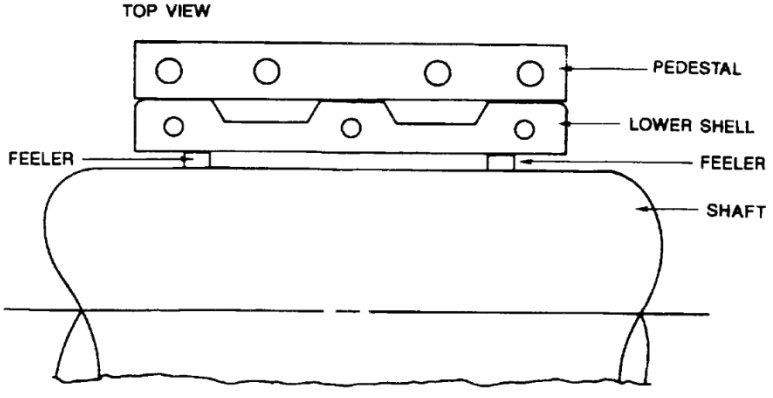
ในแบริ่งบางแบบที่ตำแหน่งติดตั้งของจานน้ำมันและแหวนกันน้ำมัน (Oil Slinger) จะต้องสัมพันธ์กับปลายแบริ่ง ให้ตรวจสอบขนาด (เส้นผ่าศูนย์กลาง) ถ้าตำแหน่งการติดตั้งไม่ถูกต้อง เลื่อนจานน้ำมันและแหวนกั้นน้ำมันตามเพลาใบจักรให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามคู่มือ

7.16. ตรวจสอบการติดตั้งเปลือกแบริ่ง (Bearing Shell Installation Inspection)

ตรวจสอบบริเวณรอยต่อหรือการประกบกันของเปลือกแบริ่งและฐานปรับระยะได้ (Spherical หรือ Knuckle) จะต้องมีผิวสัมผัสเรียบและมีขนาดพอดีกันทุกด้าน ซึ่งที่เปลือกแบริ่งบนอาจมีเครื่องหมาย (ลูกศร) บอกตำแหน่งการติดตั้งไว้ให้ตรวจสอบจากคู่มือ

หมายเหตุ

ถ้าผิวสัมผัสของฐานปรับระยะได้ (Spherical Surface) ไม่พอดีกับเปลือกแบริ่ง อาจเป็นเพราะการประกอบเปลือกแบริ่ง บน-ล่าง ไม่พอดีหรือเหลื่อมกัน หรืออาจเป็นเพราะประกอบเปลือกแบริ่งผิดคู่หรือสลับฝากัน (Mismating results) การแก้ไขกล่าวคือ ถ้าการติดตั้งไม่พอดีกันให้แก้ไขโดยการปรับเลื่อนให้ปลายแบริ่งเท่ากัน หรือสลับเปลี่ยนฝาให้ถูกคู่ (ถ้าเปลือกแบริ่งสลับคู่)



Disk-Oiled Bearing Feeler Positions

7.17. การตรวจสอบผิวสัมผัสของฐานเปลือกแบริ่งปรับระยะได้ (Bearing Shell Self-Aligning Eating Surface Inspection)

อ้างถึงส่วนประกอบของแบริ่งรับเพลาใบจักรที่ทำหน้าที่ปรับแนวหรือระยะแบริ่งให้สัมพันธ์กับแนวเพลาใบจักรนั้น ที่ด้านหลังของเปลือกแบริ่ง บน-ล่าง ได้สร้างฐานในลักษณะทรงกลม (Spherical) สำหรับเพื่อการปรับแนวได้ การทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพของฐานดังกล่าวขึ้นอยู่กับการซ่อมบำรุงอย่างถูกต้อง ดังนี้

1 ตรวจสภาพการกัดกร่อน รอยขูด การเป็นหลุมบ่อ หรือสภาพที่อาจเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียสมรรถภาพการเคลื่อนปรับแนวแบริ่ง

2. ตรวจสอบระยะผิวสัมผัสของฐานระหว่างฐานแบริ่งและตัวเรือนด้วยลวดวัดระยะห่าง (Wire Gage) วิธีการโดยสอดลวดวัดผ่านทางรูสลักยึดแบริ่ง (Pivot Pin) ลวดวัดจะต้องมีมุมสามารถสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างฐาน วิธีการให้ปฏิบัติตามคู่มือ

ตารางแสดง Shell Sphere to Housing Clearance

Journal Diameter (inches)	Sphere Clearance	
	Minimum (inch)	Maximum (inch)
6–13	0.004	0.008
14–20	0.006	0.012
21–30	0.008	0.016
31–36	0.010	0.020

7.18. การตรวจสอบผิวสัมผัสที่เพลาใบจักร (Shaft Journal Inspection)

เพลาใบจักรบริเวณที่เป็นผิวสัมผัสกับแบริ่ง (Shaft Journal) ต้องมีลักษณะกลมและผิวเรียบ การเปลี่ยนแปลงที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการทำงานของแบริ่งกล่าวคือ (ปกติผิวสัมผัสต้องเรียบ ใส และมันวาว) ถ้าสึกเป็นร่องเกิดจาก สิ่งสกปรกหรือโลหะ ทำให้ลดพื้นที่ที่เป็นผิวสัมผัสของแบริ่ง ลดประสิทธิภาพการทำงานของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น และทำความเสียหายเกิดขึ้นกับ Babbitt การสึกดังกล่าวถ้าเป็นร่องเพียงบางๆ ก็ยังพอใช้ราชการได้ แต่ถ้าเป็นร่องลึกมาก ควรซ่อมทำผิวสัมผัสใหม่ (เปลี่ยนใหม่ถ้าใช้ปลอกเพลา /Shaft Sleeve) ถ้าผิวสัมผัสเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินหรือสีดำอาจเกิดจากการเสื่อมสภาพหรือถูกกัดกร่อนตามระยะเวลาใช้งาน หรือจากสาเหตุจากอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ ถ้ามีลักษณะเป็นหลุม (Burrs) ที่ผิวสัมผัสปกติมักเกิดจากมีสิ่งสกปรกประเภทโลหะปนในน้ำมันหล่อลื่น หรือถ้ามีเศษแบริ่ง(Babbitt) ติดอยู่บนผิวสัมผัสเนื่องจากแบริ่งเซ็ด เหล่านี้เป็นต้น สภาพที่ไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ เช่น การสึกเป็นร่องลึกบริเวณกว้าง เปลี่ยนสีเป็นสีดำหรือรอยไหม้ ผิวขรุขระเป็นหลุมบ่อหรือมีเศษแบริ่ง (Babbitt) ฝังตัวติดอยู่บนผิวสัมผัส ต้องดำเนินการแก้ไขเมื่อตรวจพบ

หมายเหตุ

การแก้ไขด้วยวิธีขัดด้วยเครื่องมือ เช่น หินขัด เหล็กขูดชาร์ป หรือเครื่องมือขัดอื่นๆ ควรทำได้เฉพาะผู้มีความชำนาญหรือประสบการณ์แล้วเท่านั้น

7.19. การตรวจแหวนน้ำมัน (Oil Ring Inspection)

เมื่อทำการเปิดตัวเรือนแบริ่งควรตรวจแหวนน้ำมันเพื่อให้แน่ใจว่าหมุนได้อย่างคล่องตัวและมีสภาพไม่ชำรุด (ถ้าชำรุดให้ซ่อมทำให้แล้วเสร็จก่อนประกอบเข้าที่เดิม)

รายละเอียดเกี่ยวกับการสึกหรอ (Side Ware) สาเหตุ และเกณฑ์การสึกของแหวนน้ำมัน ดังต่อไปนี้

1. ร่องน้ำมันที่วงแหวน (Groove) การตรวจสอบควรดูว่า จำนวนและขนาด (1/8x 1/8) ของร่องน้ำมัน ยังจ่ายน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างเพียงพอ โดยร่องน้ำมันควรมีความลึก 1/32 นิ้ว ถ้าตรวจแล้วพบว่า ร่องน้ำมันมีความสึกน้อยกว่า 1/32 นิ้ว ให้แก้ไขที่ร่องน้ำมัน (ถ้าทำได้) หรือเปลี่ยนแหวนน้ำมันใหม่

หมายเหตุ

ถ้าแหวนน้ำมันสึกมากเกินไป (ทำให้ขนาดของร่องเปลี่ยนแปลง) หรือแหวนไม่หมุน อาจทำให้เกิดสภาวะการขาดน้ำมันหล่อลื่นและแบริ่งร้อน (Overheat)

2. จากการทีแหวนน้ำมันสึกมากเกินไป จนทำให้การสัมผัสระหว่างวงแหวนและช่องแหวนที่เปลือกแบริ่ง (Guide) เป็นสาเหตุทำให้บริเวณข้อต่อของวงแหวนสึกตามไปด้วย ซึ่งการสึกของวงแหวนน้ำมันบริเวณที่เป็นจุดฝังของหัวข้อต่อ (สกรูหรือรีเวท) อาจเป็นสาเหตุทำให้หัวของข้อต่อที่ยื่นออกไป(โผล่)เกี่ยวกับช่องว่างที่เปลือกแบริ่ง และทำให้แหวนน้ำมันไม่หมุนตามเพลาใบจักร เมื่อสถานการณ์นี้เกิดขึ้นจะทำให้แบริ่งขาดการหล่อลื่นทันที่

3. แหวนน้ำมันอาจจะไม่หมุนได้เช่นกัน ถ้าการขัดสีกับช่องแหวนที่ตัวเรือนแบริ่งจนกระทั่งร่องน้ำมันที่ตัววงแหวนสึก (ร่องน้ำมันที่วงแหวนช่วยให้เกิดความฝืด และทำให้วงแหวนเกาะติดไปกับเพลาใบจักร)

4. สาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้วงแหวนน้ำมันหยุดหมุน เช่น ข้อต่อวงแหวนหลุด ขนาดของแหวนไม่ได้ตามเกณฑ์หรือความผิดปกติที่วงแหวน เป็นต้น

7.20. ช่องแหวนน้ำมันที่เปลือกแบริ่ง (Oil Ring Guide)

ลักษณะของช่องแหวนน้ำมันที่เปลือกแบริ่งมีลักษณะที่เป็นร่อง (Guide) หล่อติดอยู่กับเปลือกแบริ่งบนหรือตัวเรือนแบริ่ง ทำหน้าที่รักษาตำแหน่งของแหวนน้ำมัน การสึกหล่อระหว่างผนังของช่องแหวนและแหวนน้ำมันอาจเป็นสาเหตุทำให้แหวนน้ำมันหยุดหมุน ให้ตรวจสอบสภาพของช่องแหวนน้ำมันที่เป็นสาเหตุทำให้แหวนน้ำมันหมุนช้าลงหรือหยุดหมุน เช่น มีผิวขรุขระ ลักษณะเป็นเสี้ยน หรือช่องมีลักษณะเป็นรอยฟัน เป็นต้น การประกอบช่องแหวนน้ำมัน (Guide) จะต้องไม่ให้ส่วนใดสัมผัสกับเพลาใบจักร

7.21. การตรวจจานน้ำมันและแผ่นกวาดน้ำมัน (Disk And Scraper Inspection)

เมื่อมีการเปิดตัวเรือนแบริ่งให้ตรวจสภาพจานน้ำมันและแผ่นกวาด (เฉพาะแบริ่งรับเพลาใบจักรแบบจานน้ำมัน) เพื่อให้แน่ใจว่าใช้ราชการได้ดังต่อไปนี้

1. ช่องว่างรอยต่อระหว่างจานน้ำมันฝาบน–ล่าง ที่มีลักษณะไม่เรียบและมีสภาพไม่ร่วมศูนย์กัน หรืออุปกรณ์ยึดหลวมอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้การสัมผัสระหว่างจานน้ำมันและแผ่นกวาดผิดปกติ ซึ่งอาจทำให้เกิดการรอยตัด (Cut) เกิดขึ้นบนแผ่นกวาดขณะที่เพลาใบจักรหมุน หรือในที่สุดอาจเป็นสาเหตุทำให้แบริ่งขาดน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากแผ่นกวาดชำรุด (แผ่นกวาดน้ำมัน ทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อลื่นจากจานน้ำมันให้ตกลงในช่องบนเปลือกแบริ่ง)

2. การติดตั้งไม่ถูกต้อง การสึกหรอเกินเกณฑ์ หรือการหลวมของสลักป้องกันแผ่นกวาดน้ำมันหมุนตามเพลาใบจักร (Pin) เป็นเหตุทำให้เพิ่มช่องว่างระหว่างแผ่นกวาดและจานน้ำมัน ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้ แบริ่งขาดน้ำมันหล่อลื่นได้เช่นกัน (ระยะช่องว่างที่เพิ่มขึ้น จะลดประสิทธิภาพการทำงานของแผ่นกวาดน้ำมัน)

ข้อควรระวัง

แอสแบสทอส (Asbestos) เป็นวัตถุอันตราย ต้องใส่ถุงมือทุกครั้งที่มีการถอดแบริ่งแอสแบสทอส

7.22. การป้องกันรั่ว (Sealing Joints)

1. แก๊สเก็ตที่ใช้ในงานป้องกันรั่วแบริ่งรับเพลาใบจักร สำหรับป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วไหลจากฝาปิดตัวเรือนด้านบน แต่จะไม่ใช้ในระหว่างฐานและฝาตัวเรือนด้านล่าง แก๊สเก็ตยางเป็นชนิดที่ใช้แล้วและสามารถนำมาใช้ใหม่ได้ (Reused) การตรวจสอบแก๊สเก็ตวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสภาพรอยตัด รอยฉีกขาด และสภาพการชำรุดอื่นๆ ที่อาจทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันรั่วลดลง แก๊สเก็ตประเภทกระดาษอาจจะนำมาใช้แทนแก๊สเก็ตยางได้ แต่ควรมีความหนาประมาณ 1/32 นิ้ว (หรือตามที่คู่มือกำหนด)

การประกอบแก๊สเก็ตกระดาษควรใช้น้ำยาป้องกันรั่ว (Sealing Compound) ทาเสริมทั้ง 2 ด้านเพื่อช่วยให้การทำงานที่ดีขึ้น รวมทั้งควรตรวจสอบและทำความสะอาดผิวสัมผัสที่ฝาปิดให้สะอาด การขูดสิ่งสกปรกออกจากผิวสัมผัสต้องทำด้วยความระมัดระวัง อย่าให้เกิดการชำรุด

2. Metal to Metal Joint รอยเชื่อมต่อของส่วนประกอบแบริ่งรับเพลาใบจักรที่ผิวสัมผัสเป็นโลหะ (Metal to Metal) ไม่ใช้แก๊สเก็ตป้องกันรั่ว มีหลักปฏิบัติดังนี้

ก. ทำความสะอาด ขูดหรือขัดด้วยหินขัด บริเวณผิวสัมผัสของข้อต่อหรือหน้าแปลนที่ไม่เรียบเพื่อให้การเชื่อมต่อแนบสนิท

ข. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า ส่วนประกอบของแบริ่งถูกต้อง (ไม่สลับชิ้นส่วนกัน)

ค. ตรวจพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยวิธี Blue Check เมื่อทำการเปลี่ยนส่วนประกอบ หรือเมื่อตรวจพบว่ามีการรั่วไหลเกิดขึ้น การตรวจสอบด้วยวิธี Blue Check และตรวจการแนบสนิทของพื้นที่ผิวสัมผัสเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่ามีพื้นผิวสัมผัสที่เป็นรอยต่อที่อยู่ภายในรัศมีแรงกวดของสลัก สามารถป้องกันรั่วได้อย่างน้อย 70% ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนพื้นที่ที่สัมผัสไม่แนบสนิทอีกประมาณ 30% นั้น จะต้องอยู่ในลักษณะกระจาย ไม่รวมอยู่ในจุดใดจุดหนึ่งเพียงจุดเดียว

ง. ใช้น้ำยาป้องกันรั่วประเภทซิลิโคน หรือ เปอร์มาเท็กซ์ ทาบางๆ ที่ผิวสัมผัสข้อต่อ ความกว้างของน้ำยาที่ทาประมาณ ½ นิ้ว (ขึ้นอยู่กับขนาดของหน้าแปลน) และควรให้น้ำยาอยู่ห่างจากขอบในของหน้าแปลนต่อประมาณ ¼ นิ้ว

หมายเหตุ

ควรตรวจสอบน้ำยาป้องกันรั่วที่ใช้ทาเป็นชนิดใด (ติดแน่นถาวรหรือลอกออกง่าย) เพื่อให้สะดวกในการซ่อมทำครั้งต่อไป

จ. ประกอบฝาปิด หรือส่วนประกอบของแบริ่งรับเพลาเข้าที่เดิม กวดสลักให้แน่น และใช้น้ำหนักในการกวด (Torque) ตามคู่มือ

7.23. แหวนป้องกันรั่ว (Oil Slingers)

ติดตั้งอยู่บนเพลาใบจักรใกล้กับแผ่นปิดหัว-ท้าย ภายในตัวเรือนแบริ่ง ทำหน้าที่สลัดน้ำมันหล่อลื่น/ป้องกันน้ำมันหล่อรั่วตามแนวแกนเพลาใบจักร มีลักษณะโครงสร้างเป็นวงแหวน 2 ฝา ประกอบยึดติดกับเพลาใบจักรด้วยหน้าแปลนและสลัก สลักถูกออกแบบพิเศษป้องกันการคลายตัวได้

7.24. เดือยล็อค (Pivot Pin)

ทำหน้าที่ป้องกันแบริ่งหมุนตามเพลาใบจักร การติดตั้ง Pivot Pin จะต้องให้อยู่ในลักษณะหลวมๆ (Loosely) ทั้งนี้เพื่อให้เปลือกแบริ่งสามารถเลื่อน/ปรับศูนย์ตามเพลาใบจักรได้

1. ตรวจสภาพของเดือยล็อค และรูที่ติดตั้งบนฝาเปลือกแบริ่งบน จะต้องไม่มีการกัดกร่อนหรือชำรุด ต้องเปลี่ยนใหม่ถ้าเดือยล็อคคด มีสภาพถูกกัดกร่อน ไม่กลม หรืออื่นๆ ที่คาดว่าอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายได้ถ้ายังใช้งานต่อไป สำหรับรูที่ติดตั้งเดือยล็อค ถ้าชำรุดควรซ่อมทำ (เดือยล็อคจะต้องเลื่อนเข้า-ออก อยู่ภายในรูได้อย่างคล่องตัว) ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเดือยล็อคแบริ่งรับตามมาตรฐาน ทร.อม.

ตารางแสดง Pivot Pin Dimensions

Journal Diameter (inches)	Pin Diameter (inches)	Pin Length (inches)
6–13	7/8	2–1/2
14–19	1	2–1/2
20–28	1–1/4	2–3/4
29–36	1–1/2	3

2. ตรวจให้แน่ใจว่าเดือยล็อคสามารถที่จะติดตั้งด้วยการใส่ลงไปในรูที่เปลือกแบริ่งได้โดยไม่ต้องใช้น้ำหนักกด เพราะนอกจากเป็นการป้องกันเดือยและรูที่เปลือกแบริ่งไม่ให้เกิดการชำรุดแล้ว ยังบอกให้รู้ถึงสภาพของแบริ่งกล่าวคือ การที่ต้องใช้น้ำหนักกดเดือยล็อคบอกถึง รูที่ฝาปิดและเปลือกแบริ่งไม่ตรงกัน สาเหตุอาจเป็นเพราะประกอบเปลือกแบริ่งสลับกัน หรือแบริ่งไม่ได้ศูนย์ การตรวจสอบและแก้ไขกระทำโดย ถอดฝาครอบเรือนแบริ่ง ยกเพลาใบจักรด้วยแม่แรงไฮดรอลิก จนสามารถหมุนเปลือกแบริ่งได้ ตรวจสอบการประกอบเปลือกแบริ่งให้ถูกต้อง ตรวจวัดระยะแบริ่ง ถ้าไม่ได้ตามเกณฑ์ให้ทำการตั้งศูนย์ระหว่างแบริ่งและเพลาใบจักรใหม่

7.25. ซีลปิดหัว-ท้ายเรือนแบริ่ง (End Seal)

ทำหน้าที่ป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วออกและสิ่งสกปรกรั่วเข้าไปในเรือนแบริ่ง อัตราการรั่วไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่รั่วผ่านซีลจะต้องไม่เกิน 1 หยด/นาที

1. Double Lip End Seal

แบริ่งรับเพลาใบจักรแบบจานน้ำมัน (Disk-Oiled) เรือใน ทร.อม.จำนวนมากที่ใช้ซีลป้องกันรั่ว หัว-ท้าย เรือนแบริ่งแบบ Double Lip and Seal ซีลประเภทนี้มีข้อดี คือ เป็นซีลที่มีคุณลักษณะทำให้แบริ่งรับเพลาใบจักรสามารถใช้งานได้แม้ในขณะเกิดสภาวะน้ำท่วมห้อง โดยที่ซีล (Outer Lip Seal Face) จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำหรือสิ่งสกปรกจากภายนอกรั่วเข้าไปในถังพักน้ำมันหล่อลื่น และซีล (Inner Lip Seal Face) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำรั่วเข้าไปในบริเวณพื้นที่การทำงานของส่วนที่เป็นแบริ่ง (ถึงแม้จะมีประวัติการรั่วไหลของน้ำมันหล่อลื่นอยู่บ้างก็ตาม) สำหรับข้อเสียเกี่ยวกับการออกแบบที่ต้องให้หน้าสัมผัส (Lip Seal) สัมผัสอยู่กับเพลาใบจักรด้วยสปริงตลอดเวลานั้น ทำให้ผิวสัมผัสที่เพลาใบจักร (หรือปลอกเพลา) สึก ซึ่งจากการรายงานของเรือ DD 963 และ FFG7 พบว่า มีน้ำมันหล่อรั่วผ่านซีลเกินเกณฑ์ และตรวจพบมีน้ำปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นโดยมีสาเหตุมาจากการออกแบบในลักษณะดังกล่าว

2. Hybrid End Seal

แบริ่งรับเพลาใบจักรในเรือรุ่นใหม่ใน ทร.อม.ใช้ซีลป้องกันรั่ว หัว-ท้าย เรือนแบริ่งแบบ Hybrid End Seal ประกอบด้วยซีลแบบคมมีด (Labyrinth Seal) ทำหน้าที่ป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วออก (ประกอบอยู่ด้านใน) และซีลแบบ Sing Lip Seal (Rubber Lip Seal) ทำหน้าที่ป้องกันน้ำรั่วเข้าตัวเรือนแบริ่ง (ประกอบอยู่ด้านนอก) ไลบิลินท์ซีลมีลักษณะเป็น 2 คมมีด (ดูภาพประกอบ) และระหว่างคมมีดมีช่องระบายน้ำมันหล่อลื่น (Drain Slot) เพื่อป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วไปสัมผัสกับซีลยาง (Rubber Lip Seal) และรั่วออกไปภายนอกตัวเรือน

การทำงานไลบิลินท์ซีลในการจำกัดจำนวน น้ำมันหล่อลื่นที่รั่วไหลออกไปจากเรือนแบริ่งได้ด้วยระยะห่าง (Clearance) ระหว่างปลายคมมีดและเพลาใบจักรที่แคบลง โดยมีระยะห่างที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ระยะระหว่างปลายคมมีดและเพลาใบจักรของระยะที่อยู่ด้านข้าง (Side Clearance) ของตัวเรือนแบริ่ง ควรมีระยะไม่เกิน 0.004 นิ้ว และระยะที่อยู่ด้านใต้ (Bottom Clearance) ของตัวเรือนแบริ่ง ควรอยู่ระหว่าง 0.004-0.005 นิ้ว ซึ่งมีระยะแคบกว่าด้านบน (Top Clearance) ของตัวเรือนแบริ่ง

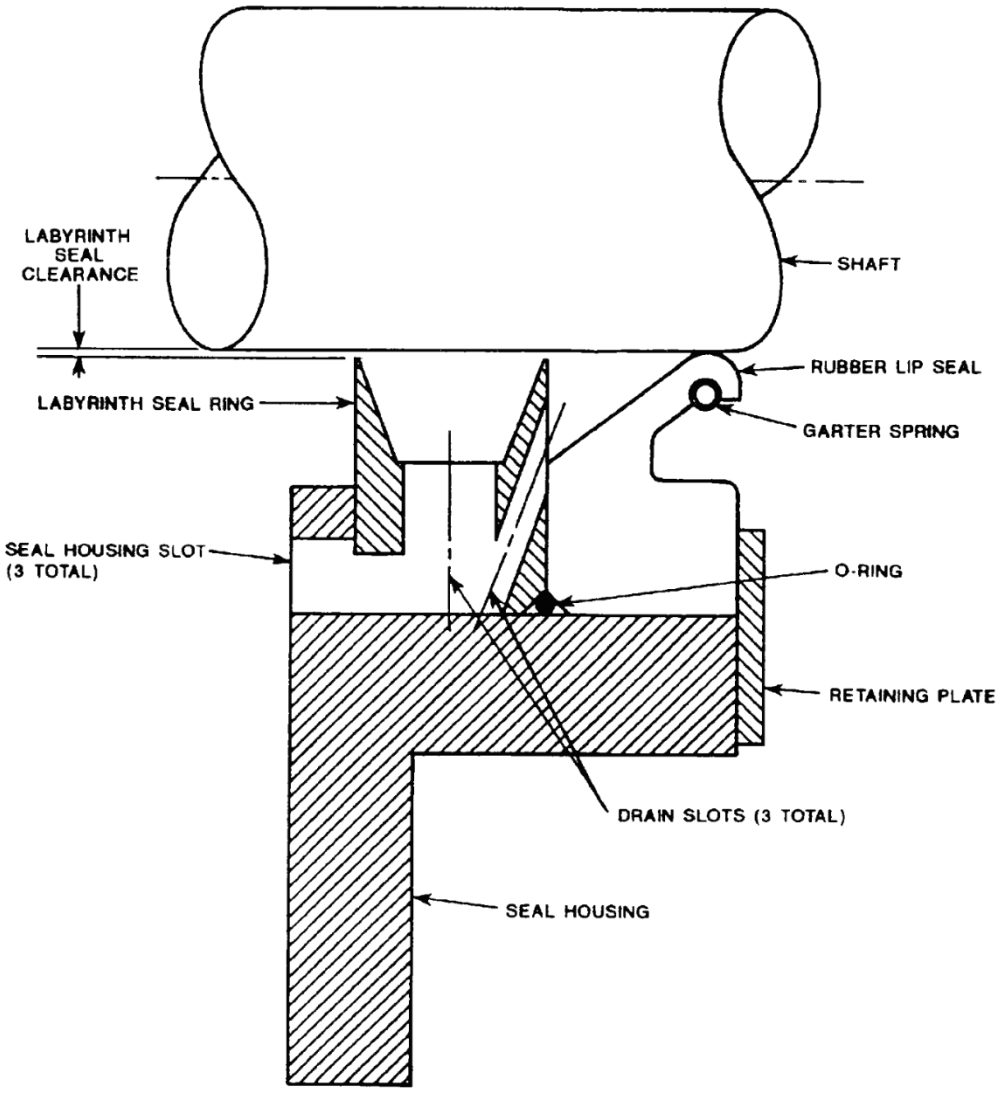
สำหรับซีลยาง (Lip Seal Face) ติดตั้งอยู่โดยรอบเพลาใบจักร (ดูภาพประกอบ) การทำงานเมื่อมีน้ำท่วมตัวเรือนแบริ่ง กล่าวคือ กำลังดันน้ำที่ท่วมตัวเรือนแบริ่งจะแทรกเข้าไปและช่วยทำให้เกิดกำลังดันร่วมกับสปริงกดซีลยางให้แนบกับเพลาใบจักรมากยิ่งขึ้น ป้องกันน้ำรั่วเข้าไปในตัวเรือนแบริ่ง (ซีลยางทำหน้าที่เฉพาะป้องกันน้ำรั่วเข้า ไม่มีหน้าที่ป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วออก) ไลบิลินท์ซีลทำมาจากแผ่นอะลูมิเนียม หรืออะลูมิเนียมที่ตีขึ้นรูป ซึ่งตัวเรือนแบริ่งของแบริ่งรับเพลาใบจักรที่ใช้ซีลป้องกันรั่วแบบ Double-Lip End Seal สามารถนำซีลประเภทนี้ไปปรับปรุงและใส่แทนได้

3. แบริ่งรับเพลาใบจักรแบบแหวนน้ำมัน (Ring –Oiled)

ในเรือรุ่นเก่าของ ทร.อม.ที่ใช้ซีลป้องกันรั่วแบบแผ่นกั้นน้ำมัน (Slinger) โดยติดตั้งให้หมุนไปพร้อมกับเพลาใบจักรอยู่บริเวณ หัว-ท้าย ภายในเรือนแบริ่ง และทำงานร่วมกับแผ่น Battle Plate ในการป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วนั้น มีระยะมากและไม่สามารถป้องกันน้ำรั่วเข้าได้ ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้ซีลแบบ Lip Seal

4. ซีลกั้นน้ำมันแบบทำด้วยสักหลาด (Felt Oil Seals)

ซีลกันรั่วที่ทำด้วยสักหลาดถูกนำมาใช้งานในบางโอกาส โดยมีร่อง (Groove) ให้ประกอบอยู่ภายในตัวเรือนแบริ่ง หรือฝาปิด หัว-ท้าย เป็นซีลที่ติดตั้งอยู่กับที่ และสัมผัสกับเพลาใบจักร น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านมาบนเพลาใบจักรเมื่อมาถึงซีลสักหลาดจะถูกแยกออก ป้องกันไม่ให้น้ำมันหล่อลื่นรั่วออกไปภายนอกตัวเรือน อาจใช้วัสดุอื่นๆ แทนสักหลาดก็ได้ แต่จะต้องไม่แข็ง หรือมีส่วนผสมของวัสดุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนปนอยู่ด้วย ห้ามใช้สี (Color) ตรวจสภาพของซีลสักหลาด



Hybrid End Seal

5. ซีลกันน้ำมันทำด้วยโลหะหล่อ (Cast-In Metal Oil Seal)

โลหะอ่อน (Soft Metal) เช่น Babbitt อาจถูกนำมาใช้งาน โดยการหล่อติดเข้าไปในร่องที่เรือนแบริ่งหรือร่องที่ฝาปิด หัว-ท้ายเรือนแบริ่ง ซีลชนิดนี้สร้างให้พอดีกับการสัมผัสที่เพลาใบจักร เพื่อลดการรั่วไหลทั้งน้ำมันหล่อลื่นและละอองของน้ำมันหล่อลื่นออกจากไปเรือนแบริ่ง ควรตรวจสอบการสึกหรอของซีล ระยะและสภาพการติดตั้ง ให้เปลี่ยนใหม่ถ้าซีลมีสภาพที่หลวมหรือหลุดออกมาจากร่อง ซีลที่มีสภาพสึกกร่อนให้แก้ไขด้วยวิธีซ่อมทำหรือเปลี่ยนใหม่ตามความเหมาะสม

6. ซีลโลหะ (Metal Ring Seal)

ซีลโลหะรูปวงแหวนผ่าซีกแล้วนำมาประกอบรวมกันอยู่ในร่องที่ฝาปิด หัว-ท้าย เรือนแบริ่งนั้น เป็นซีลกันน้ำมันหล่ออีกประเภทหนึ่งที่วงแหวนไม่ได้หล่อติดกับตัวเรือน แบริ่งหรือเพลาใบจักร แต่หมุนฟรีได้อย่างอิสระอยู่ภายในร่อง ซึ่งทำให้ซีลชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Floating Ring Seal เป็นซีลที่มีการสึกกร่อนช้ามาก แต่ต้องดูแลหรือตรวจสอบให้ซีลหมุนฟรีตัวได้ตลอดเวลาด้วยการทำความสะอาดร่องและรูระบายน้ำมันหล่อลื่นไม่ให้มีสิ่งสกปรกสะสมและอุดตัน

7. แผ่นกวาดน้ำมันหล่อ (Wiper)

แผ่นกวาดน้ำมันลื่นอาจทำด้วยสักหลาดหรือวัสดุอื่นๆ ประกอบติดและสัมผัสอยู่บนเพลาใบจักรด้วยน้ำหนัก (Gravity) หรือสปริงอ่อน ทำหน้าที่แยกน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลมาตามเพลาใบจักร ป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรั่วออกไปภายนอกเรือนแบริ่ง การตรวจสอบสภาพของแผ่นกวาดน้ำมัน เช่น ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแผ่นกวาดน้ำมันหล่อลื่นสัมผัสกับเพลาใบจักรตลอดเวลา และอยู่ในตำแหน่งที่สามารถกวาดน้ำมันหล่อลื่นได้ ควรตรวจสอบแผ่นกวาดน้ำมันให้หมุนคล่องตัวอยู่ในซองยึด (Holder) ทั้งนี้ เพื่อให้แผ่นกวาดเคลื่อนที่ตามเพลาใบจักรที่มีการเปลี่ยนแนวตามแรงที่กระทำอยู่ตลอดเวลาได้ ตรวจสภาพการยืดหยุ่นของสักหลาดและสิ่งสกปรกที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน ให้เปลี่ยนใหม่ถ้าสักหลาดนั้นมีสิ่งสกปรกที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนฝังตัวอยู่เป็นจำนวนมาก

7.26. สลักยึด (Fasteners)

ความสั่นสะเทือนของเรือในบางครั้งอาจเป็นสาเหตุทำให้นัตของฐานหรือรอยเชื่อมต่อต่างๆ ของแบริ่งที่กวดไว้อย่างถูกต้องแล้วเกิดการคลายตัวได้ ปัญหาอื่นๆ ของสลักยึด เช่น นัตหลุดหายไปหรือชำรุด หรือเกิดการกัดกร่อน เป็นต้น

1. การตรวจสอบสลักหลวมหรือไม่โดยใช้ค้อนเคาะ แต่ถ้าเป็นสลักที่มีขนาดตั้งแต่ 5/8 นิ้วลงมา ให้ตรวจด้วยวิธีใช้ประแจกวด อย่างไรก็ตาม ความผิดปกติของสลักยึดที่มากกว่าการคลายตัวหรือหลวม สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตา

2. สลักที่มีนัตกวดหายหรือชำรุดควรเปลี่ยนใหม่ และต้องใช้สลักที่ทำจากโลหะตามชนิดที่คู่มือกำหนดไว้เท่านั้น

3. เมื่อทำการเปลี่ยนสลักใหม่หรือกวดนัตใหม่ให้แน่น การกวดสลักรอยเชื่อมต่อของเปลือกแบริ่งบน-ล่าง และการกวดสลักฐานเรือนแบริ่ง ให้กวดด้วยน้ำหนัก (Torque) ตามตาราง

8. การปฏิบัติกับตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Disposal of Samples and Used Oil)

1. ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น (Oil Sample)

ถ้าเป็นตัวอย่างที่สะอาดให้เทกลับลงไปในถังพัก

2. น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Use Oil)

การปฏิบัติของ ทร.อม. น้ำมันหล่อลื่น (Symbol 2190 TEP.) ที่สกปรกมีน้ำและตะกอนปน สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ถ้าผ่านกระบวนการทำความสะอาดด้วยระบบถังตกตะกอน (Setting Tank) และด้วยเครื่องแยกน้ำมันแล้ว แต่ไม่ควรนำไปใช้ร่วมกับระบบน้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักรใหญ่ น้ำมันหล่อลื่นสกปรกที่ไม่สามารถทำให้สะอาดได้ด้วยวิธีใดๆ แล้ว ให้เก็บไว้ในถังน้ำมันสกปรกเท่านั้น (Contaminated Oil Tank)

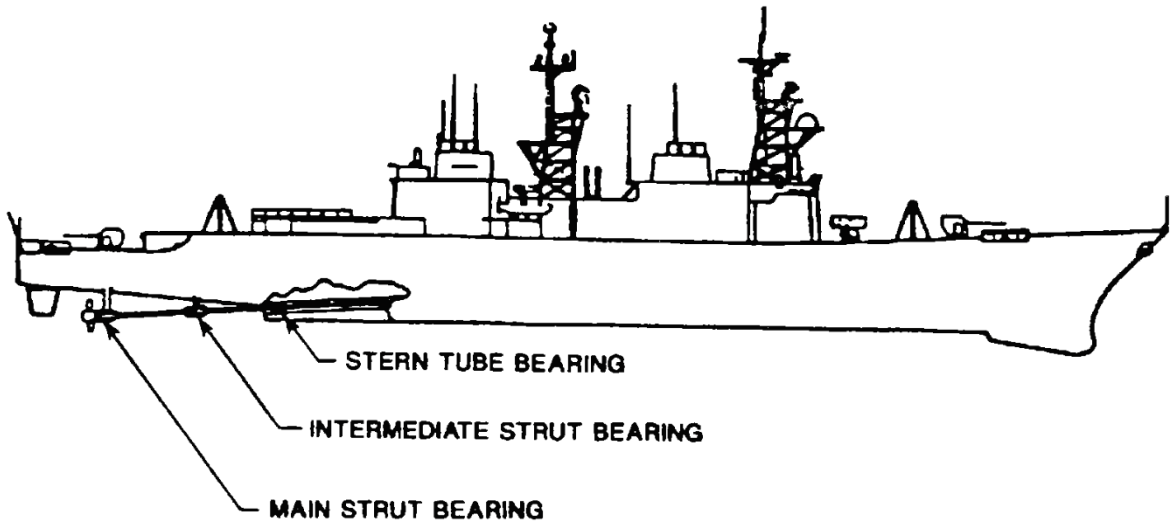
บทที่ 9. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร

เรื่อง แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร (Main Propulsion Stern Tube and Strut Bearings)

1. กล่าวโดยทั่วไป (Introduction)

แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่ ทำหน้าที่รับเพลาใบจักรภายนอกตัวเรือที่เรียกว่า Stern Tube Shaft และ Tail Shaft ติดตั้งต่อจากซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร แบริ่งกระบอกดีฟุต (Stern Tube Bearing) เป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ภายในกระบอกดีฟุต เรือผิวน้ำบางประเภทอาจมีแบริ่งกระบอกดีฟุต 1 หรือ 2 ชุด

แบริ่งโยงโย่เพลาใบจักร (Strut Bearing) เป็นส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่ภายในโยงโย (เสาค้ำหรือคานรับที่เป็นโครงสร้างยื่นออกมาจากตัวเรือ) ทำหน้าที่รับเพลาใบจักรใต้น้ำ เรือผิวน้ำที่มีแบริ่งโยงโย่เพลาใบจักร 2 ชุด การเรียกชื่อต่างกัน คือ แบริ่งโยงโย่กลาง (Intermediate Strut Bearing) และโยงโย่ท้าย (Main Strut Bearing) แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรใช้น้ำทะเลหล่อลื่นและระบายความร้อน



แสดงสถานที่ติดตั้งของ STERN TUBE AND STRUT BEARING

2. การออกแบบแบริ่ง (Bearing Design)

แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรถูกใช้งานอยู่ในน้ำทะเลเป็นประจำ รวมทั้งใช้น้ำทะเลในการหล่อลื่นและระบายความร้อน ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อน วัสดุดังกล่าว ได้แก่ ยางสังเคราะห์ (Water Lubricated Bounded Synthetic Rubber Bearing) ตรวจสอบรายละเอียดจากคู่มือเรือ

2.1. ประเภทของแบริ่งกระบอกดีฟุตแบะโยงโย่เพลาใบจักร

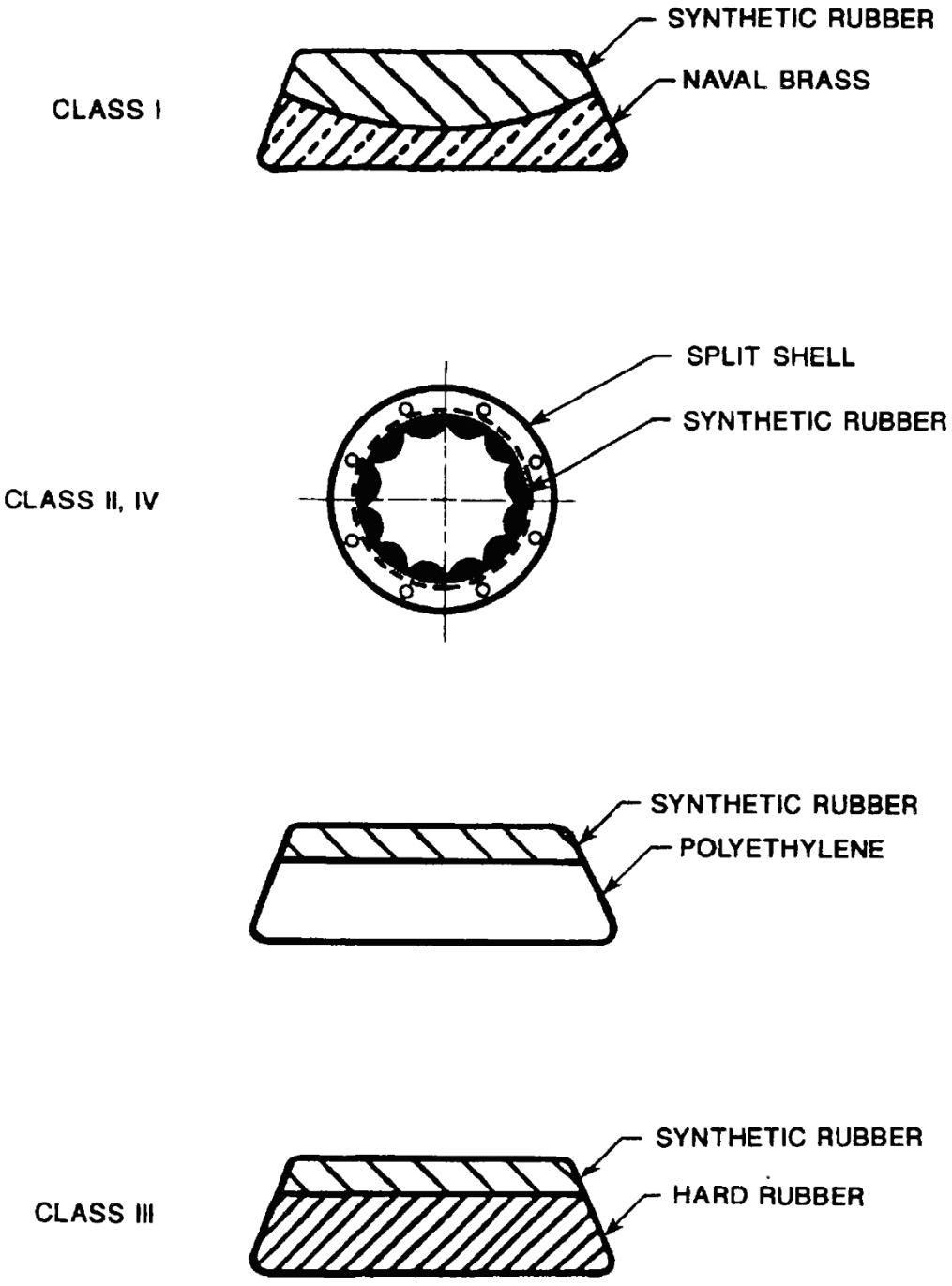
ตามมาตรฐาน ทร.อม. ได้แบ่งประเภทของแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรตามวัสดุ (Material) และลักษณะโครงสร้าง (Configuration) ดังนี้

CLASS I - แบบแผ่นยาวด้านหลังเป็นโลหะ (Metallic Backed)

CLASS II - แบบทรงกระบอก (Cylindrical) ด้านหลังของแบริ่งเป็นโลหะ (Metallic Backed) ผิวสัมผัสแบริ่งที่อยู่ภายในหล่อเป็นแผ่นยาว (Stave)

CLASS III - แบบแผ่นยาว (Stave Bearing) ด้านหลังเป็นอโลหะ (Nonmetallic Backed)

CLASS IV - แบบทรงกระบอก (Cylindrical) ด้านหลังของแบริ่งเป็นอโลหะ (Nonmetallic Backed) ผิวสัมผัสภายในหล่อเป็นแผ่นยาวติดกัน



แสดงการแบ่งประเภทของ Stern Tube and Strut Bearings

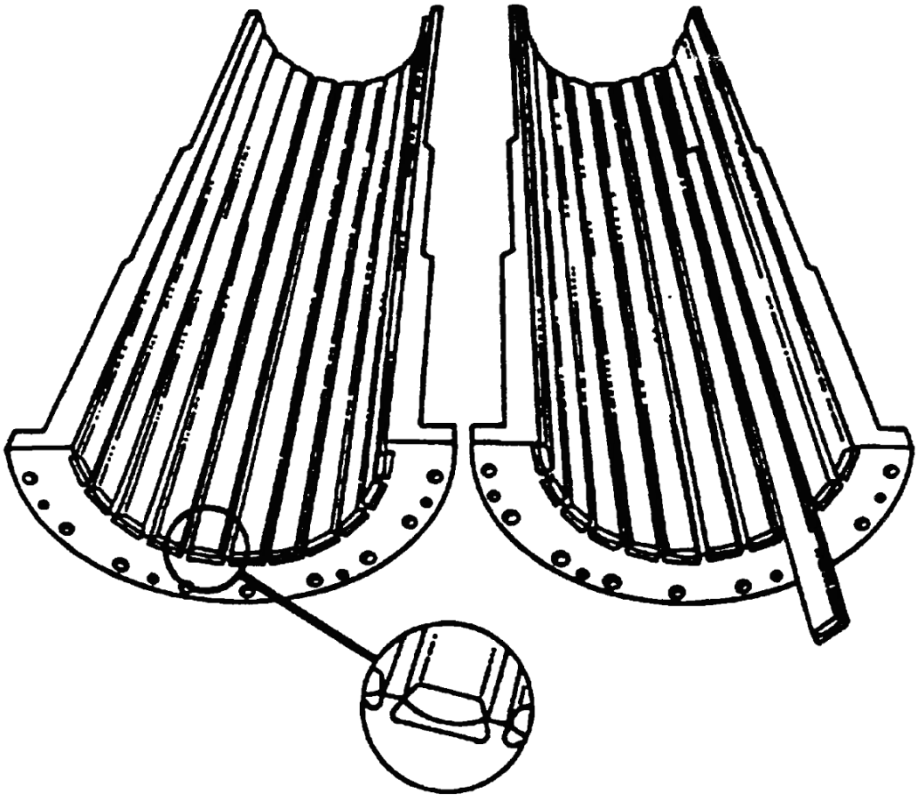
2.1.1. แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร Class I และ Class III

ใช้งานกับเพลาใบจักรที่มีขนาดตั้งแต่ 6 นิ้วขึ้นไป ซึ่งการใช้งานของแบริ่งทั้ง 2 ประเภทนี้ ต้องมีเปลือกแบริ่งทรงกระบอกผ่าซีก (Split Bearing Shell) พร้อมร่องหางปลา (Dovetail Groove) สำหรับสอดและเลื่อนแบริ่งเข้าไปไว้

ภายในเปลือกแบริ่ง แบริ่ง Class I และ Class III นี้มีลักษณะเป็นแผ่นยาว มีหน้าสัมผัสทำด้วยยางสังเคราะห์ และมีพื้นหลังเป็นโลหะหรืออโลหะ เรียกแบริ่งลักษณะดังกล่าวว่า Stave หรือ Stave bearing (แผ่นแบริ่ง)

2.1.2. แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร Class II และ Class IV

ใช้งานกับเพลาใบจักรที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 6 นิ้ว เป็นแบริ่งที่มีผิวสัมผัสเป็นยางสังเคราะห์หล่อติดกับเปลือกแบริ่งรูปทรงกระบอกผ่าซีก ด้านหลังหรือเปลือกแบริ่งทำด้วยโลหะประเภททองเหลือง (แบริ่ง Class II) หรืออโลหะ (แบริ่ง Class IV) ผิวสัมผัสของแบริ่งทั้ง 2 ประเภทได้หล่อเป็นร่องน้ำ (Water Groove) ตามความยาวคล้ายลูกระนาด แบริ่ง Class II และ Class IV เปลี่ยน / ใช้งานแทนกันได้ แต่นิยมแบริ่ง Class Iv มากกว่า ทั้งนี้เพราะน้ำหนักเบาและเปลือกแบริ่งอโลหะสามารถต้านทานการสึกกร่อนได้ดี



แสดงเปลือกแบริ่งทรงกระบอกผ่าซีกใช้งานกับแบริ่ง Class I และ Class III

2.2. แผ่นแบริ่ง (Staves)

แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นยาว ด้านหลังของแผ่นแบริ่งเป็นโลหะ (Class I) หรืออโลหะ (Class III) ส่วนด้านหน้าเป็นผิวสัมผัสทำด้วยยางสังเคราะห์ เมื่อประกอบแผ่นแบริ่งเข้าช่องภายในเปลือกแบริ่งแล้ว จะถูกยึดแน่นด้วยแหวนล็อค สำหรับ Class II และ Class IV ลักษณะของแผ่นแบริ่งเหมือนกับ Class I และ Class III แต่ยางสังเคราะห์จะหล่อติดกัน และหล่อติดกับเรือนแบริ่ง แผ่นแบริ่ง (Rubber Stave-Type Bearing) ถูกออกแบบให้มีพื้นที่รับภาระบนผิวสัมผัส (Projected Area Loading) สูงสุดได้ 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว (ผิวสัมผัสเปลี่ยนแปลงได้ 0.020-0.040 นิ้ว) แผ่นแบริ่ง Class I และ Class III สามารถสับเปลี่ยนกันได้ แต่ Class III นิยมใช้มากกว่าเพราะน้ำหนักเบา และการที่ด้านหลังเป็นอโลหะสามารถต้านทานการสึกกร่อนได้ดี

2.3. ร่องแบริ่ง (BEARING GROOVE)

ร่องที่อยู่ระหว่างแผ่นแบริ่งมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

2.3.1. เป็นช่องให้น้ำทะเลผ่านเข้าไปภายในแบริ่ง

2.3.2. เป็นช่องทางน้ำทะเลชะล้างสิ่งสกปรกและนำความร้อนออกไปจากแบริ่ง ซึ่งการชะล้างสิ่งสกปรก เช่น เม็ดหิน ทราย ให้ออกไปจากผิวสัมผัสแบริ่งด้วยแรงดันน้ำทะเลที่ผ่านภายในร่องแบริ่งนั้นเป็นข้อดีของแบริ่งยาง

2.4. ระยะผิวสัมผัสแบริ่ง (Bearing Clearance)

ระยะผิวสัมผัสแบริ่ง ต้องทำการวัดและบันทึกระยะแบริ่งทันทีที่การติดตั้งแบริ่งและเพลาใบจักรแล้วเสร็จ ทั้งนี้เนื่องจากผิวสัมผัสของแบริ่ง (ยางสังเคราะห์) จะเกิดการสึก ตลอดเวลาขณะใช้งาน ทำให้ระยะแบริ่งเพิ่มขึ้น รวมทั้งถ้าผิวสัมผัสที่เพลาใบจักรหรือปลอกเพลา (Shaft Sleeve) มีการสึกกร่อนเพิ่มด้วยแล้ว จะยิ่งทำให้ผิวสัมผัสระหว่างแบริ่งและเพลาใบจักรเพิ่มมากขึ้น และเมื่อระยะดังกล่าวเพิ่มมากเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตามคู่มือเรือ ต้องเปลี่ยนแบริ่งใหม่ทันที ซึ่งในการเปลี่ยนแบริ่งใหม่นี้ ถ้าแบริ่งแผ่นขนาดมาตรฐาน (Standard-Sized Staves) ยังมีระยะมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดก็สามารถใช้แบริ่งที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน (Over Sized Stave) ที่มีใช้อยู่เปลี่ยนแทนได้ (ขนาดของ Over Sized Stave คือ 1/16 และ 1/8 นิ้ว) แต่ทั้งนี้ถ้าตรวจพบว่าผิวสัมผัสที่เพลาใบจักรหรือปลอกเพลามีการสึกกร่อนมาก หรือมีรอยขรุขระเป็นหลุมบ่อ ควรดำเนินการซ่อมทำหรือเปลี่ยนปลอกเพลาใบจักรใหม่ ระยะห่างระหว่างผิวสัมผัสของแบริ่งและเพลาใบจักร รวมทั้งการดำเนินการแก้ไขให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือ

ข้อควรระวัง

ไม่ควรคว้าน หรือใช้วิธีการด้วยเครื่องมือใดๆ เพื่อแก้ไขผิวสัมผัสให้ได้ระยะแบริ่งใหม่ที่ต้องการ เพราะการปฏิบัติด้วยวิธีดังกล่าวเป็นการทำให้เกิดความเสียหายกับผิวสัมผัสแบริ่ง (ยางสังเคราะห์)

2.5. วัสดุที่ใช้ทำแบริ่ง (Bearing Material)

2.5.1. วัสดุที่เป็นผิวสัมผัส (Facing Material)

วัสดุที่ใช้ทำผิวสัมผัสของแบริ่งได้แก่ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber Compound) ซึ่งหล่อให้มีลักษณะเป็นแผ่น มีพื้นหลัง และมีคุณลักษณะเฉพาะ เช่น การยืดขยาย (Tensile Strength) ความแข็ง (Hardness) หรือลักษณะที่สำคัญของผิวสัมผัสให้ตรวจสอบตามคู่มือของเรือแต่ละประเภท

2.5.2. วัสดุพื้นหลัง (Back)

แบริ่ง Class I พื้นหลังทำด้วยแผ่นทองเหลือง (Naval Brass) แบริ่ง Class II เปลือกแบริ่งหล่อด้วยทองเหลืองทรงกระบอกผ่าซีก (Split Shell) แบริ่ง Class III พื้นหลังเป็นอโลหะประเภทยางแข็ง (Hard Rubber) เปลือกแบริ่งหล่อด้วยทองเหลืองทรงกระบอกผ่าซีก (Split Shell และแบริ่ง Class IV เปลือกแบริ่งเป็นอโลหะทรงกระบอก ทั้งแบริ่ง Class I และ Class III พื้นหลังมีรูปร่างเฉพาะ (มีรูปหางปลา) เพื่อให้สามารถสอดเข้าไปในภายในช่องของเปลือกแบริ่งได้ รายละเอียดของพื้นหลัง (Back) และเปลือกแบริ่ง (Bearing Shell) ให้ตรวจสอบจากพิมพ์เขียวหรือคู่มือของเรือแต่ละประเภท

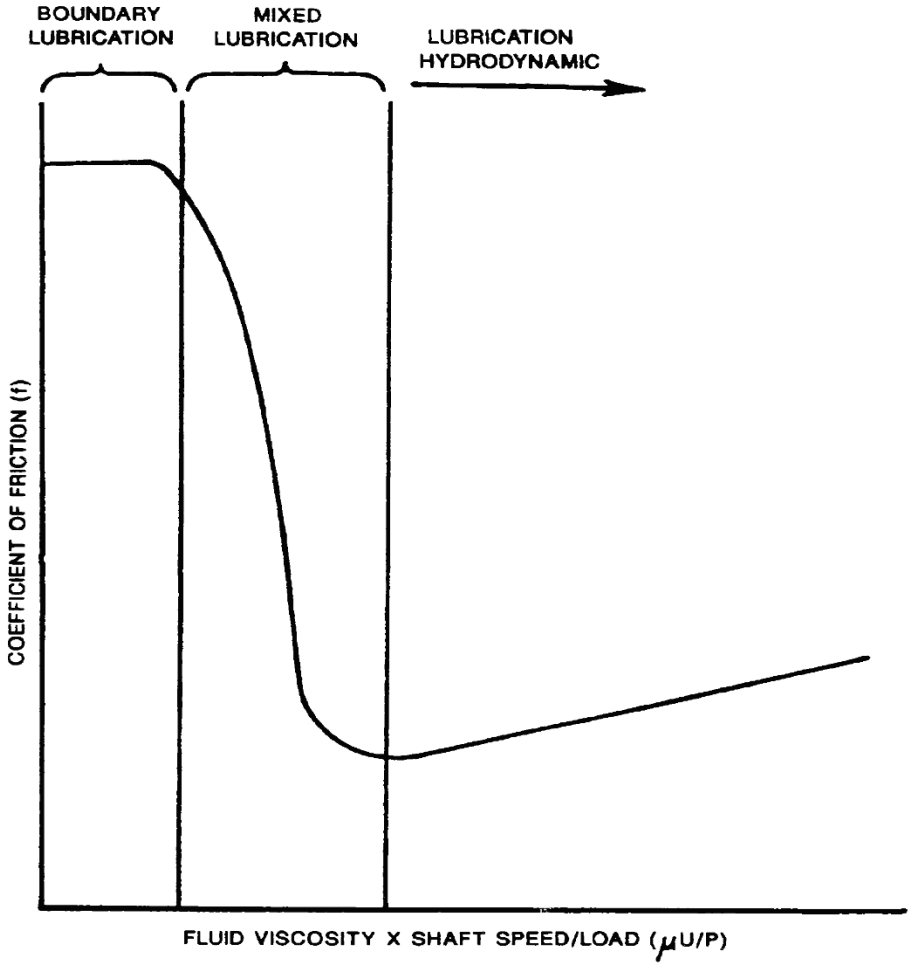
3. การหล่อลื่น (Lubrication)

3.1. ทฤษฎีการหล่อลื่น (Lubrication Theory)

3.1.1. การหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic Lubrication)

ขณะที่เพลาใบจักรหมุนอยู่ในรอบความเร็วปกติ ฟิล์มน้ำทะเลจะทำหน้าที่แยกผิวสัมผัสระหว่างเพลาใบจักรและแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่ การทำงานของเพลาใบจักรที่ทำให้เกิดกระบวนการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิค กล่าวคือ การหมุนของเพลาใบจักรทำให้น้ำทะเลถูกดูดและถูกเหวี่ยงเข้าไปแทรกอยู่ในระหว่างผิวสัมผัสแบริ่ง และเมื่อเพลาใบจักรมีความเร็วเพิ่มขึ้น น้ำทะเลจะถูกดูดเข้าไปภายในผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น และมากพอที่จะทำให้เกิดลิ่มน้ำทะเล (Seawater Wedge) และมีกำลังยกเพลาใบจักรไม่ให้สัมผัสกับแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่ ถ้าฟิล์มน้ำทะเลมีกำลังยกเพลาใบจักรได้ทั้งหมด การแทรกตัวเข้าไปหล่อลื่นอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของแบริ่งและเพลาใบจักรในลักษณะเป็นฟิล์มของน้ำทะเลดังกล่าว เรียกว่า การหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิค (Hydrodynamic Lubrication)

จากภาพ แสดงเส้นโค้งที่บอกถึงการทำงานของการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิค และแสดงกำลังดันที่กระทำบนผิวสัมผัสของแผ่นแบริ่ง การหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิคนี้ สิ่งสกปรกขนาดเล็ก (ทราย หิน) จะไม่ทำความเสียหายให้กับผิวสัมผัสของแบริ่งและเพลาใบจักรเพราะไหลผ่านไปได้ และเป็นวิธีการหล่อลื่นที่ให้ค่าความฝืดที่ผิวสัมผัสต่ำสุด



เส้นโค้งแสดงการหล่อลื่นแบบ : Boundary, Mixed, and Hydrodynamic

3.1.2. การหล่อลื่นแบบมิกฟิล์ม (Mixed Film Lubrication)

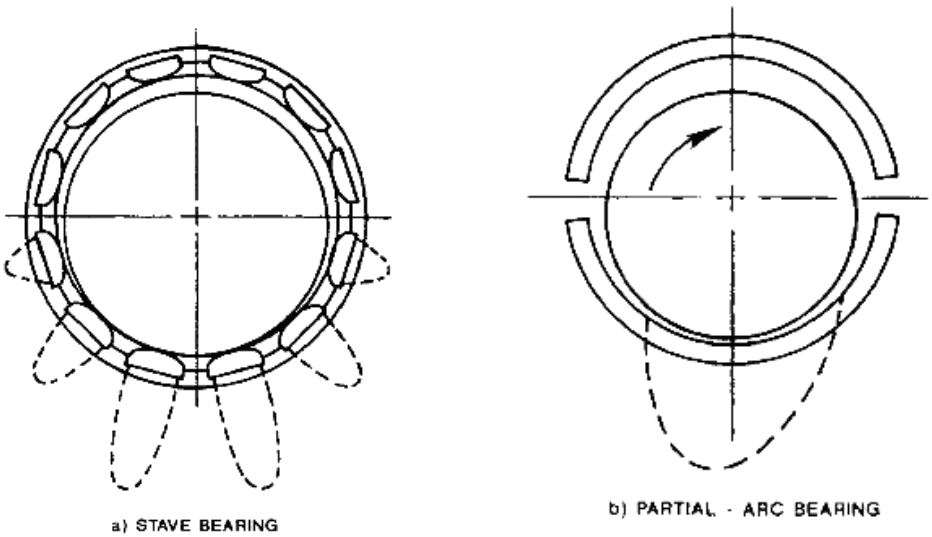
ขณะลดความเร็วของเพลาใบจักรให้ต่ำกว่ารอบใช้งานปกติ การแทรกของน้ำทะเลที่เข้าไปเป็นฟิล์มอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของแบริ่งและเพลาใบจักรจะลดหรือบางลง เรียกการหล่อลื่นด้วยฟิล์มน้ำทะเลต่อไปนี้ว่า Mixed Film Lubrication เป็นรอบการทำงานที่เพลาใบจักรและแบริ่งเริ่มที่จะมีการสัมผัสกัน มีความฝืดเกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสและถ้าลดความเร็วของเพลาใบจักรลงอีก ความเป็นฟิล์มของน้ำทะเลจะยิ่งลดลง เพิ่มจุดสัมผัสระหว่างเพลาและแบริ่งมากขึ้น ดังนั้น ถ้าใช้งานเพลาใบจักรด้วยรอบการหล่อลื่นแบบมิกฟิล์ม ผลที่จะได้รับนอกจากการทำงานของแบริ่งที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว ความเสียหาย เช่น แบริ่งหลุดออกจากร่องหางปลาหมุนตามเพลาใบจักรอาจเป็นสิ่งที่เกิดตามมา การใช้งานเพลาใบจักรด้วยรอบการหล่อลื่นแบบมิกฟิล์มอย่างต่อเนื่อง น้ำทะเลจะรับภาระจากเพลาใบจักรได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

3.1.3. การหล่อลื่นแบบเบานดรี่ (Boundary Lubrication)

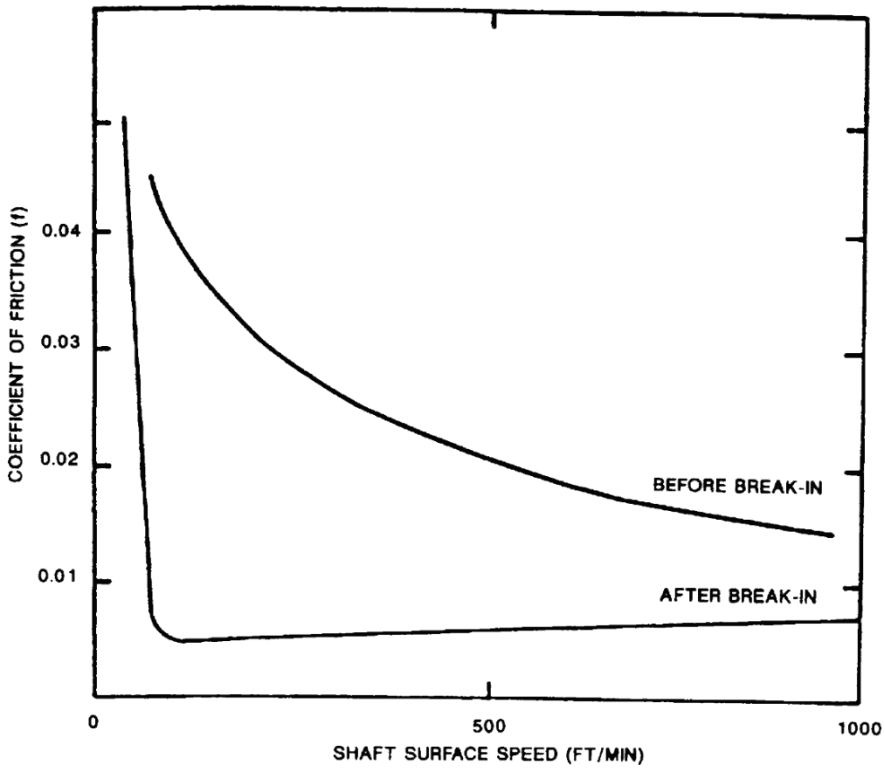
เมื่อเพลาใบจักรลดความเร็วลงจนกระทั่งน้ำทะเลไม่สามารถแทรกเข้าไปเป็นฟิล์มระหว่างผิวสัมผัสได้ ทำให้แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่สัมผัสกับเพลาใบจักรอย่างเต็มที่ เรียกการหล่อลื่นนี้ว่า Boundary Lubrication ซึ่งการหล่อลื่นประเภทนี้ก่อให้เกิดความฝืดและการสึกหรอที่แบริ่งและเพลาใบจักร (ปลอกเพลา) มากที่สุด

3.1.4. การหล่อลื่นของแบริ่งขณะเพลาใบจักรเริ่มหมุน (Bearing Break-In)

การหล่อลื่นด้วยน้ำทะเลของแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรจะมีประสิทธิภาพดีขึ้น เมื่อสิ้นสุดช่วงระยะเวลาเพลาใบจักรเริ่มหมุนไปแล้ว กล่าวคือ ในขณะที่เพลาใบจักรเริ่มหมุน (Break-In Period) เป็นเวลาที่แบริ่งมีการหล่อลื่นแบบ Mixed Film Lubrication และเป็นเวลาที่ผิวสัมผัสของเพลาใบจักรที่วางทับอยู่บนแบริ่งเกิดการขัดสีกัน แต่เมื่อช่วงระยะเวลาที่เพลาใบจักรเริ่มหมุนผ่านไป ผิวสัมผัสของเพลาใบจักรและแบริ่งทุกจุดเริ่มลดลง และสามารถกระจายภาระลงไปบนพื้นที่ผิวสัมผัสของแบริ่งได้มากขึ้น หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อเพลาใบจักรหมุน (แต่ยังไม่ถึงรอบปกติ) ความหนาของฟิล์มน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความฝืดที่ผิวสัมผัสของแบริ่งลดลง



แสดงกำลังดันที่กระทำบนผิวสัมผัสของแผ่นแบริ่ง ขณะทำการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก



แสดงประสิทธิภาพในการหล่อลื่นด้วยน้ำทะเลของแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่ขณะเริ่มหมุนและสิ้นสุดช่วงระยะการหมุนของเพลาใบจักร

3.2. การหล่อลื่นแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร (Provision for Lubrication)

การหล่อลื่นแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร มีวิธีที่ทำให้มั่นใจได้ว่าส่งน้ำทะเลเข้าไปหล่อลื่นแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรได้อย่างเพียงพออยู่ 2 วิธี คือ วิธีสูบส่ง (Pressure Lubrication) และวิธีธรรมชาติ (Natural Lubrication) วิธีสูบส่งใช้กับแบริ่งกระบอกดีฟุตเป็นหลัก โดยใช้ปั๊มสูบน้ำทะเลส่งเข้าไปยังด้านหน้าของกระบอกดีฟุต (ภายในตัวเรือ) และไปออกด้านท้าย (นอกตัวเรือ) น้ำทะเลที่ผ่านเข้าไปภายในกระบอกดีฟุต นอกจากทำหน้าที่หล่อลื่นแล้ว ยังทำหน้าที่ชะล้างสิ่งสกปรก (Flush) และระบายความร้อนอีกด้วย กำลังดันน้ำทะเลควรอยู่ระหว่าง 10-25 PSi (หรือตามคู่มือ) ส่วนการหล่อลื่นแบริ่งที่โยงโย่เพลาใบจักรนั้น เนื่องจากโครงสร้างของโยงโย่ที่มีปลายทั้ง 2 ด้านจมอยู่ใต้น้ำ ดังนั้นจึงใช้วิธีการหล่อลื่นแบบธรรมชาติ กล่าวคือ น้ำทะเลถูกส่งเข้าไปภายในเรือนโยงโย่ทางด้านหน้า และผ่านไปออกทางด้านท้ายด้วยกำลังดันที่เกิดจากความเร็วเรือ

4. ปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน และขั้นตอนการปฏิบัติ (Operational Problems and Producers)

4.1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

การปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบเพลาใบจักรและแบริ่งจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง ถ้าเป็นแบริ่งที่ได้รับการติดตั้งใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพลาใบจักรเริ่มหมุน หรือเมื่อตรวจพบว่ามีเสียงดังผิดปกติเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น การเดินเรือด้วยการใช้เพลาใบจักรรอบต่ำก่อให้เกิดความเสียหายต่อแบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรที่เรียกว่า Stick-Slip (แผ่นแบริ่งหลุดออกมาจากร่องหางปลาและหมุนตามเพลาใบจักร) สาเหตุเกิดจากการทำงานของฟิล์มน้ำทะเล (Hydrodynamic Water Film) ยังไม่มีกำลังพอที่จะยกเพลาใบจักรให้ลอยพ้นจากผิวสัมผัสของแบริ่งได้ทั้งหมด อาการ Stick-Slip ทราบได้โดยเกิดเสียงดังกระแทก (Chattering) หรือเสียงที่เกิดจากการเสียดสีอย่างรุนแรง (Squealing / ลั่นเอี๊ยดๆ) วิธีการป้องกันโดยเพิ่มความเร็วเพลาใบจักรให้ไปอยู่ในรอบใช้งานปกติ

4.2. อุณหภูมิแบริ่งสูง (High Temperature)

แบริ่งกระบอกดีฟุตและโยงโย่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำทะเล ซึ่งในขณะที่เพลาใบจักรหมุนด้วยความเร็วรอบปกติหรือรอบสูงสุดจะต้องไม่มีเสียง ถ้ามีเสียงดังเกิดขึ้นมักเป็นเสียงที่เกิดจากแรงที่พยายามทำให้เพลาใบจักรหมุนภายใต้ความฝืด และเป็นจุดเริ่มต้นที่จะทำให้แบริ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ต้องไม่พยายามใช้งานแบริ่ง (Rubber Staves) ที่มีอุณหภูมิ 180 องศา F (83 องศา C) หรือสูงกว่าเกินไปนัก ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้ยางสังเคราะห์ชำรุด (ยางแข็งตัวและแตกเป็นชิ้นๆ) ซึ่งถ้ามียางชำรุดในลักษณะแตกเป็นก้อนแข็งขนาดใหญ่ติดขวางอยู่ในร่องที่ผิวสัมผัสของแบริ่งด้วยแล้ว ทำให้แบริ่งร้อนเพิ่มขึ้น รวมทั้งยางที่ชำรุดอาจจะหมุนไปพร้อมกับเพลาใบจักร ทำให้การชำรุดของแบริ่งเพิ่มมากขึ้น และท้ายที่สุดแบริ่งจะถูกทำลายทั้งหมดถ้ายังมีการฝืนใช้งานต่อไป

4.2.1. แบริ่งที่หล่อลื่นด้วยน้ำทะเลได้ถูกออกแบบโครงสร้างให้มีลักษณะเฉพาะ ทั้งนี้เพื่อทำให้การแทรกตัวของน้ำทะเลมีลักษณะเป็นรูปลิ่ม ขณะอยู่ในวงรอบการทำงาน (รายละเอียดในหัวข้อการหล่อลื่น)

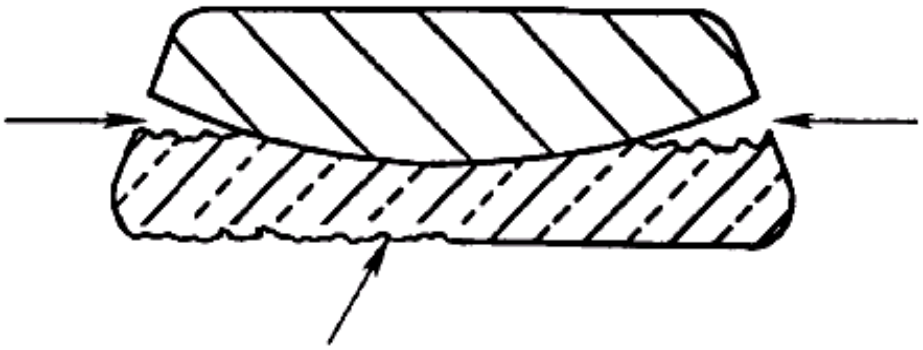
ข้อควรระวัง

ไม่ควรเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัสแบริ่งยางด้วยการคว้าน ขัดด้วยกระดาษทรายหรือเครื่องมือกลใดๆ ทั้งนี้ นอกจากไม่ได้ช่วยให้การสัมผัสของแบริ่งดีขึ้นแล้ว อาจเป็นสาเหตุทำให้แบริ่งชำรุดเร็วก่อนกำหนดหรืออายุการใช้งานสั้นลง

4.2.2. แบริ่ง Class III พื้นหลังเป็นอโลหะ มีอุณหภูมิการขยายตัวสูงกว่าแบริ่ง Class I ที่มีพื้นหลังเป็นโลหะ ด้วยเหตุนี้อาจเป็นสาเหตุทำให้แผ่นแบริ่งที่สอดอยู่ในร่องที่เปลือกแบริ่งหลวม ซึ่งอาจจะพบอาการนี้ได้ถ้าเรือเดินทางอยู่ในกระแสน้ำเย็น

4.3. การกัดกร่อน (Corrosion)

การกัดกร่อนเป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำให้เสื่อมสภาพของแบริ่งที่มีผลต่อการใช้งาน ตัวอย่างของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับแบริ่ง เช่น การกัดกร่อนที่เปลือกแบริ่ง การกัดกร่อนที่ด้านหลังของแบริ่งที่ทำด้วยทองเหลือง หรือการกัดกร่อนที่ปลอกเพลาใบจักร (Shaft Sleeve) เป็นต้น ขณะเกิดกระบวนการกัดกร่อนที่แผ่นทองเหลืองด้านหลังของแบริ่ง Class I ทำให้สังกะสีที่เป็นส่วนประกอบของทองเหลืองหมดไป ส่งผลให้แผ่นแบริ่งชำรุด ในขณะที่แบริ่งยางสังเคราะห์มีความสามารถต้านทานการสึกกร่อน และจะไม่ส่งผลทำให้ปลอกเพลาใบจักรเกิดการสึกกร่อนอีกด้วย (การสึกกร่อนของแผ่นทองเหลืองแบริ่ง Class I จะทำให้แผ่นแบริ่งหลุดออกมาจากช่องหางปลาของเปลือกแบริ่ง) สำหรับการสึกกร่อนถ้าเกิดขึ้นกับเพลาหรือปลอกเพลาใบจักร รอยขรุขระที่เกิดจากการกัดกร่อนบริเวณผิวสัมผัสของเพลาจะเกิดการขัดสีกับผิวสัมผัสแบริ่ง ทำให้ขนาดของเพลาใบจักร แบริ่ง และการทำงานเปลี่ยนไป การแก้ไขโดยการติดตั้งสังกะสีกันกร่อน (Zinc Anode) ไว้ที่เปลือกแบริ่ง เพื่อป้องกัน



แสดงการกัดกร่อนที่แผ่นทองเหลืองด้านหลังของแบริ่ง Class I

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจากน้ำทะเลที่มีผลต่อเปลือกแบริ่ง เพลาใบจักรและอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของแบริ่ง กระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักร

4.4. วัสดุปลอกเพลา (Sleeve Material)

การเลือกใช้วัสดุปลอกเพลา (Shaft Sleeve) ที่ถูกต้องช่วยลดการสึกกร่อนที่จะเกิดกับเพลาใบจักรได้ ควรใช้โลหะมีความแข็ง ผิวเรียบ ไม่ขรุขระเป็นหลุมบ่อ ผิวบริเวณที่สัมผัสกับแบริ่งต้องเรียบ ขัดเงา เพลาใบจักรหรือปลอกเพลาที่ไม่มีร่องรอยของการกัดกร่อนช่วยทำให้แบริ่งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดศึกษาจากคู่มือเรือ

5. การซ่อมบำรุง (Maintenance)

เมื่อได้ทำการติดตั้งอย่างถูกต้องแล้ว ไม่ต้องมีการซ่อมบำรุงใดๆ นอกจากตรวจสอบระยะแบริ่ง ตามกำหนดเวลา รวมทั้งวัดระยะผิวสัมผัสของแบริ่งและเพลาใบจักรมีน้ำทะเลทำหน้าที่แยกผิวสัมผัสและลดการสึกหรอขณะใช้งานด้วย แต่ถ้าผลการวัดระยะแบริ่งเกินกว่าที่ได้กำหนดไว้ในคู่มือ ให้เปลี่ยนแผ่นแบริ่ง (Bearing Stave) หรืออาจเปลี่ยนปลอกเพลาถ้าจำเป็น

6. การตรวจสอบ (Inspection)

6.1. ตรวจสอบแบริ่งและทำการวัดระยะแบริ่งทุกครั้งเมื่อเรือเข้าซ่อมทำบนอู่แห้ง

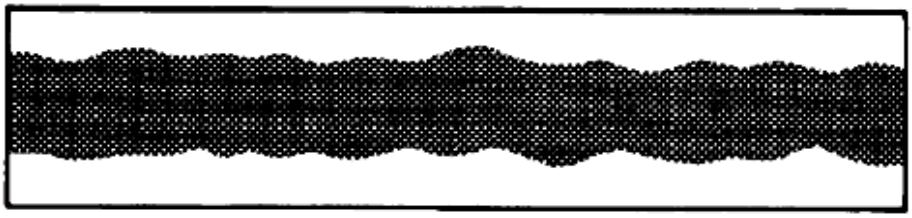
การวัดระยะด้วยฟิลเลอร์เกจทำโดย สอดฟิลเลอร์เกจเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสแบริ่งและปลอกเพลา และใช้ฟิลเลอร์เกจขนาด 4-6 นิ้ว สอดวัดระยะที่ปลายแบริ่งทั้งด้านหน้าและด้านหลัง (ถ้าเป็นไปได้ให้วัดขณะที่ยังไม่ได้ทำการถอดซีลเพลาใบจักร) ขณะทำการวัดระยะให้ถอดแหวนล็อคและตรวจสภาพบริเวณปลายแผ่นแบริ่ง ซึ่งต้องไม่มีรอยกัดกร่อนที่อาจเป็นสาเหตุทำให้แผ่นแบริ่งหลวม (Unbounding)

6.2. การสึกของแผ่นแบริ่ง (Stave Wear)

รอยสัมผัสของเพลาใบจักรที่ปรากฏอยู่บนแผ่นแบริ่ง สามารถบอกปัญหาที่เกิดขึ้น จากภาพ แสดงการสึกของแบริ่งที่ปกติและแสดงการสึกของแบริ่งที่เกิดจากเพลาใบจักรไม่ได้ศูนย์ตามลำดับ ถ้าตรวจพบการสึกของแบริ่งที่แสดงถึงเพลาใบจักรเกิดการเยื้องศูนย์ ให้ทำการตรวจสอบศูนย์เพลาใบจักร (รายละเอียดในหัวข้อระบบเพลาใบจักร (Propulsion System)) แต่ถ้ารอยสึกผิวสัมผัสแสดงถึงแบริ่งหลุดออกเป็นชิ้นๆ และหายไปมักเกิดจากสาเหตุแบริ่งร้อน

6.3. อัตราการสึกของแบริ่ง (Wear Rate)

โดยทั่วไปยางสังเคราะห์ที่เป็นผิวสัมผัสแบริ่ง กระบอกดีฟุตและโยงโย่เพลาใบจักรของเรือผิวน้ำ จะมีอัตราการสึกประมาณ 0.020-0.030 นิ้ว/ปี แต่ถ้าเป็นเรือประเภทใบจักรปรับพิทช์ได้ อัตราการสึกจะสูงกว่า (ประมาณ 0.040 นิ้ว/ปี) ทั้งนี้เพราะทุกครั้งที่ใบจักรหมุนอยู่ที่ 0 Pith (Idling) จะไม่มีน้ำทะเลผ่านเข้าไปหล่อลื่นผิวสัมผัสแบริ่ง (โดยเฉพาะแบริ่งโยงโย่ ปริมาณน้ำทะเลผ่านผิวสัมผัสแบริ่ง ขึ้นอยู่กับความเร็วเรือ) เป็นผลทำให้การสึกของแบริ่งเพิ่มขึ้น

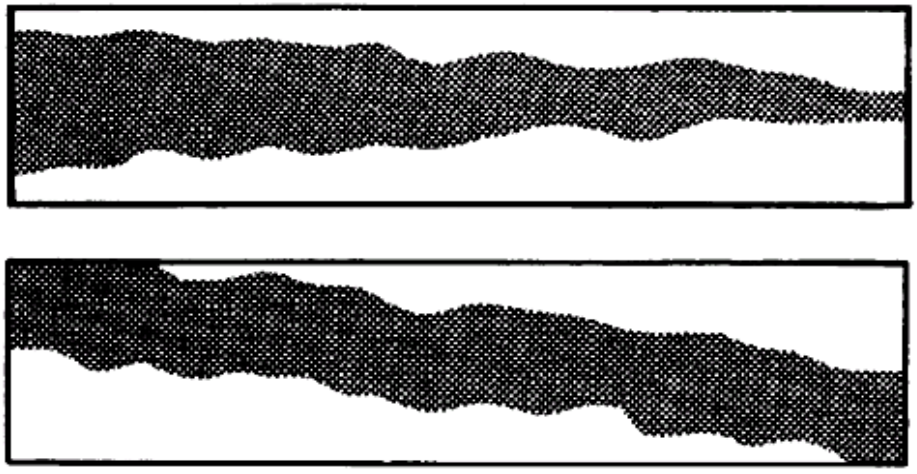


7. การเปลี่ยนแบริ่ง (Bearing Renewal)

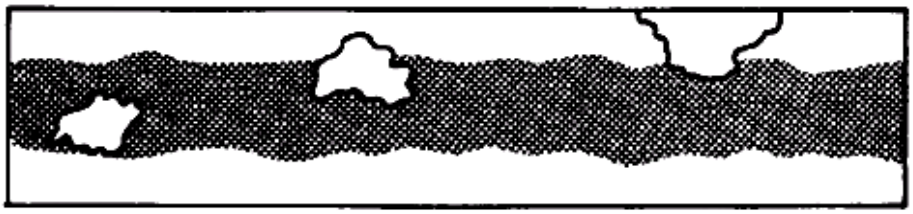
7.1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

การถอดแบริ่งจะกระทำได้ง่ายถ้าเพลาใบจักรถูกชักออกไปแล้ว และเมื่อมีการชักเพลาใบจักร ต้องแน่ใจว่าเพลาใบจักรถูกยกให้พ้นผิวหน้าสัมผัสของแบริ่ง จึงจะทำการชักเพลาออกไปได้ (การชักเพลาในขณะที่มีผิวสัมผัสกัน น้ำหนักของเพลา

การสึกของแบริ่งปกติ (Normal Wear Pattern)



การสึกของแบริ่งที่เกิดจากแบริ่งร้อน (Chunking Out of Stave Bearing)



การสึกของแบริ่งที่เกิดจากเพลาใบจักรไม่ได้ศูนย์ (Shaft Misalignment Wear Pattern)

ใบจักรจะทำให้เกิดอาการครูด ทำให้ผิวสัมผัสแบริ่งชำรุด) การถอดแบริ่งขณะที่เพลาใบจักรติดตั้งไว้ตามปกติ สิ่งแรกที่ต้องทำคือถอดเปลือกแบริ่งบน โดยเลื่อนออกไปตามเพลาใบจักร ต่อจากนั้นต้องยกเพลาใบจักร เพื่อไม่ให้มีน้ำหนักกดทับบนแบริ่งเปลือกล่าง แล้วจึงถอดเปลือกแบริ่งล่าง

หมายเหตุ

การใช้น้ำสบู่สามารถป้องกันการชำรุดของแผ่นแบริ่ง และยังช่วยลดความฝืดของการสัมผัสระหว่างเพลาใบจักรและแบริ่งขณะทำการถอดแบริ่งได้ด้วย แต่ห้ามใช้น้ำสบู่ที่ทำมาจากไขมันสัตว์

7.2. การถอดแผ่นแบริ่ง (Stave Removal)

การถอดแผ่นแบริ่งเป็นงานที่ต้องทำภายหลังที่ได้ถอดเปลือกแบริ่งออกมาจากเพลาใบจักรเรียบร้อยแล้ว มีขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติกล่าวคือ ถอดแหวนล็อคและดันให้แผ่นแบริ่งเลื่อนออกจากช่องหางปลาที่เปลือกแบริ่ง ซึ่งในการปฏิบัติจริงนั้นอาจจะต้องใช้อุปกรณ์เช่น ฆ้อน-ลมช่วยดันแผ่นแบริ่งให้เลื่อนออกได้ง่าย หรือถ้าเป็นเพราะคุณลักษณะของยางสังเคราะห์ที่ทำให้แผ่นแบริ่งมีขนาดใหญ่กว่าร่องหางปลาเนื่องจากการขยายตัวตามอุณหภูมิภายนอก (แบริ่ง Class III) การถอดควรใช้วิธี

แช่น้ำแข็งให้แผ่นแบริ่งหดตัวเลื่อนออกง่าย หรืออาจจะต้องใช้วิธีสุดท้ายโดยการตัดแผ่นแบริ่ง แล้วเลื่อนออกมาเป็นส่วนๆ แต่การตัดแผ่นแบริ่งต้องระวังไม่ให้ร่องหางปลาชำรุด (กรณีถอดไม่ออกจริงๆ เทานั้น)

7.3. การใส่แผ่นแบริ่ง (Installing Stave)

7.3.1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

แบริ่ง Class III ถ้ามีขนาดใหญ่กว่าร่องหางปลา ให้แก้ไขโดยนำไปแช่น้ำแข็งทิ้งไว้ 30 นาที การทำเช่นนี้เพื่อให้สามารถสอดแผ่นแบริ่งได้ง่ายด้วยมือ แต่ไม่ควรแช่ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิลดต่ำลงกว่า 0 องศา หรือลดอุณหภูมิด้วยน้ำแข็งแห้ง และเมื่อแผ่นแบริ่งเข้าไปในร่องหางปลาได้แล้ว รอจนกระทั่งแผ่นแบริ่งและเปลือกแบริ่งมีอุณหภูมิเท่ากัน ให้ใช้ฆ้อนยางเคาะเบาๆ บนผิวสัมผัสยางเพื่อตรวจสอบ ถ้าปรากฏว่าเสียงดังแน่น แสดงว่าแบริ่งถูกอัดตัวแน่นอยู่ในร่องหางปลา แต่ถ้าเคาะแล้วปรากฏว่ามีเสียงดังหลวมๆ เกิดขึ้น ให้ใช้ฆ้อนหัวแหลมเคาะที่บริเวณพื้นที่ขอบทองเหลืองของร่องหางปลาที่อยู่ระหว่างแผ่น- แบริ่งตรงจุดที่เคาะหลวมนั้น แผ่นแบริ่งจะถูกอัดตัวแน่นได้ด้วยวิธีดังกล่าว แต่การเคาะด้วยฆ้อนหัวแหลมควรกระทำให้น้อยที่สุด

7.3.2. ข้อควรระวัง (Precaution)

7.3.2.1. การใส่แผ่นแบริ่งที่ถูกต้องและพอดี (Fitting Stave)

ลักษณะการใส่ที่ไม่ถูกต้องและการแก้ไข

(1) เมื่อใส่แผ่นแบริ่งเข้าไปในร่องหางปลาแล้วปรากฏว่า ระยะด้านข้างของแผ่นแบริ่ง (Side Clearance) เกินกว่า 0.011 นิ้ว และแผ่นแบริ่งมีลักษณะนอนแบนราบอยู่ก้นร่อง รวมทั้งด้านข้างแทบจะไม่สัมผัสกับด้านข้างของขอบร่องหางปลา ลักษณะดังกล่าวไม่มีทางแก้ไข ต้องเปลี่ยนเปลือกแบริ่งใหม่เท่านั้น

(2) เมื่อใส่แผ่นแบริ่งอัดแน่นเรียบร้อยแล้ว แผ่นแบริ่งต้องไม่สามารถเลื่อนตัวในทางยาวได้ (Without Play)

(3) ระยะระหว่างปลายแผ่นแบริ่งและแหวนล็อคไม่ควรเกิน 0.032 นิ้ว (การใส่แบริ่งและวิธีการตรวจสอบตามคู่มือเรือ)

7.3.2.2. การขัดผิวสัมผัสแผ่นแบริ่ง (Stave Furface Finish)

ผิวสัมผัสของแผ่นแบริ่งยาง มีความสำคัญอย่างมากที่ช่วยให้แบริ่งทำงานได้ถูกต้อง ห้ามขัดผิวสัมผัสแบริ่งด้วยกระดาษทรายหรือเครื่องมือใดๆ แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงระยะแบริ่งให้ปฏิบัติโดย ใช้แผ่นแบริ่งขนาด Over Size (ถ้าต้องการลดระยะ) หรือเปลี่ยนปลอกเพลาใบจักรใหม่ หรือลดขนาดของปลอกเพลาใบจักรเพื่อให้ได้ระยะตามต้องการ เป็นต้น

7.3.2.3. การติดตั้งเพลาใบจักร (Installation)

เมื่อการติดตั้งเพลาใบจักร ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าเพลาใบจักรถูกยกพ้นผิวสัมผัสของแบริ่งแล้วจึงเลื่อนเพลาเข้าที่ (ต้องไม่ครูดกับผิวสัมผัสแบริ่ง) จากนั้น ตรวจสอบสภาพแหวนล็อคแบริ่งอีกครั้ง ใส่ลวดล็อคหัวสลักและผูกยึดให้แน่น (ถ้ามี) ถอด/เปลี่ยนสังกะสีกันกร่อน (The Sacrificial Zinc Anodes) ตามความจำเป็น รายละเอียดอื่นๆ ตามคู่มือ

หมายเหตุ

การใช้น้ำสบู่สามารถป้องกันการชำรุดของแผ่นแบริ่ง และช่วยลดความฝืดของการสัมผัสระหว่างเพลาใบจักรและแบริ่งขณะเลื่อนเพลาเข้าที่ แต่ห้ามใช้น้ำสบู่ที่ทำมาจากไขมันสัตว์

7.4. การดูแลรักษา (Preservation)

7.4.1. การดูแลรักษาพื้นที่ตามช่องว่าง (Preservation Compound)

ช่องว่างระหว่างเปลือกแบริ่งและผนังกระบอกดีฟุตหรือโยงโย่ควรเคลือบด้วย Epoxy (หรือตามคู่มือกำหนด) อุปกรณ์ป้องกันน้ำทุกชนิดที่นำมาใช้งานภายในช่องว่างดังกล่าว ต้องไม่ทำมาจากวัสดุมีที่ส่วนผสมของไขมันสัตว์

7.4.2. รูระบายและรูเติม (Drain and Fill Holes)

ควรเปิดปลั๊กอุดรูระบายหรือรูเติม ที่กระบอกดีฟุตและโยงโย่ไว้ขณะเรืออยู่บนอู่แห้ง (ป้องกันน้ำการกลายเป็นน้ำแข็ง)

7.4.3. การเก็บรักษาแผ่นแบริ่ง (Storage)

เพื่อให้อายุการใช้งานที่ยาวนาน ควรป้องกันผิวสัมผัสแบริ่งยางจากการถูกกดทับเป็นเวลานาน การปล่อยให้มีสภาพเป็นยางแข็ง หรือปล่อยให้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือเย็นเกินไปขณะเก็บไว้ในคลัง การกดทับ (compression) หมายถึงผิวสัมผัสยางถูกกระทำด้วยภาระที่จุดใดจุดหนึ่ง ควรใช้อุปกรณ์รองรับที่ถูกต้องขณะเก็บอยู่ในคลัง ทั้งนี้ การถูกกดทับนานๆ อาจทำให้ยางผิดรูปผิดร่าง (Distortion)

บทที่ 10. แบริ่งรองรับเพลาใบจักร

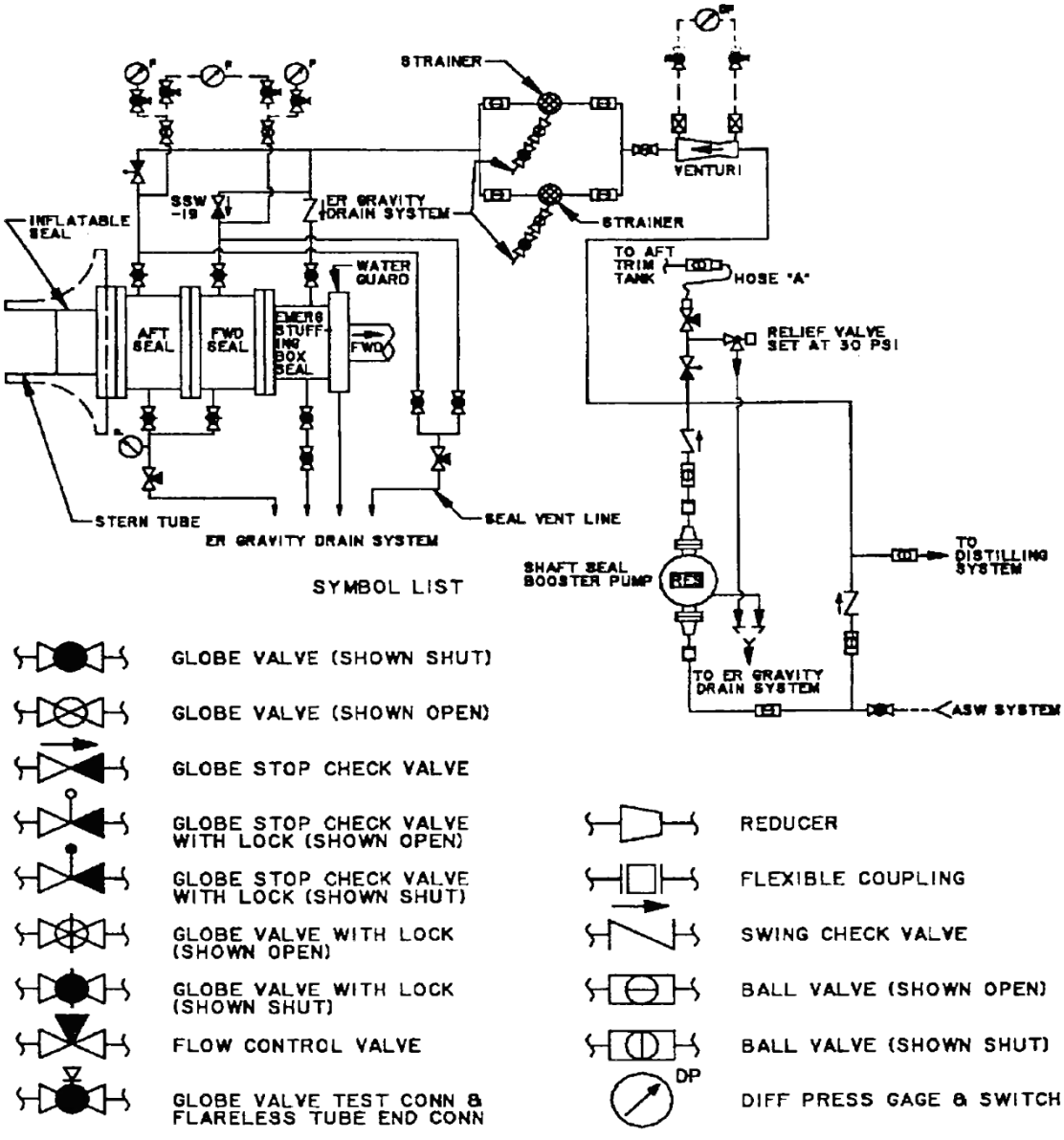
เรื่อง ซีลเพลาใบจักร (Propulsion Shaft Seal)

1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

บทต่อไปนี้จะกล่าวถึงซีลเพลาใบจักรชนิดต่างๆ ที่ใช้งานกับเรือผิวน้ำ มีรายละเอียดต่างๆ เช่น การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบ การใช้งานการ การซ่อมบำรุง การตรวจสอบ และการแก้ไขปัญหาข้อขัดข้อง รวมทั้งซีลพองลมและซีลผนังกันห้องของเรือผิวน้ำ

2. ซีลกระบอกดีฟุต (Stern Tube Shaft Seal)

ซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักรทำหน้าที่ ผนึกห้องที่เพลาใบจักรสอดทะลุผ่านออกไปภายนอกตัวเรือ เพื่อป้องกันและควบคุมน้ำเข้าเรือ (อัตราสูงสุดที่น้ำทะเลรั่วผ่านซีลกระบอกดีฟุตเข้าตัวเรือได้ตามตารางด้านล่าง) ซีลที่นำมาติดตั้งใช้งานมีหลายแบบ แต่แบบที่เป็นมาตรฐาน ทร.อม. และนิยมใช้กับเรือผิวน้ำ คือ Mechanical – Type Face Seal และ Rubber-Type Face Seal



Shaft Seal Water Service System

2.1. Mechanical – Type Face Seal

เป็นไดนามิกซีลประเภทผิวสัมผัส (Face Seal) ทำงานด้วยกลไกล (สปริงหรือแบลโล่ (Bellows)) โดยมีซีล 1 ชุด เป็นซีลวงแหวน 2 วง วางในลักษณะให้ผิวสัมผัสผนึกกัน (ซีลวงแหวนทำด้วยวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ 1 วง และอีก 1 วงทำด้วยบรอนซ์หรือดีฟุตผสมตะกั่ว) ในสถานการณ์ฉุกเฉิน (ซีลชำรุด) สามารถใช้ซีลธรรมดาแบบฝาอัดกระบอกดีฟุต (Packing - type stuffing Box) ที่ติดตั้งรวมอยู่ด้วยแทนได้ Mechanical - Type Face Seal ที่ใช้งานมี 2 แบบ คือ Crane type MX9 ใช้งานในเรือรุ่นใหม่ และ EG&G Sealol ยังมีใช้งานเรือรุ่นเก่า

2.2. Rubber – Lip - Type Face Seal

เป็นไดนามิกซีลที่ประกอบด้วยซีลยาง 2 ชุดวางเรียงกัน โดยบริเวณปลายของซีลยางแต่ละชุดถูกกดให้สัมผัสกับเพลาใบจักรด้วยขดสปริง ซีลยางชุดหน้าทำหน้าที่เป็น ซีลป้องกันรั่วที่สัมผัสอยู่กับ Gland Ring ส่วนซีลยางชุดหลังทำหน้าที่ เป็นช่องว่างวงแหวน (Spacer ring) ทำให้ซีลยางชุดหน้าไม่เกิดการเยื้องศูนย์ ซีลทั้ง 2 ชุดสามารถสลับตำแหน่งกันได้ตามต้องการ

ตารางแสดง อัตราการรั่วไหลของซีลเพลาใบจักรเรือผิวน้ำ

ชนิดของซีล	สภาพของซีล	อัตราการรั่วไหล
Mechanical – Type Face Seal	การรั่วไหลสูงสุดขณะเพลาอยู่นิ่ง (static Leakage) (หลังจากการติดตั้งและตั้งศูนย์แล้ว)	1 Pint/นาที 1.5 Pint/นาที (CV/CVN)
	การรั่วไหลสูงสุดขณะเพลาอยู่นิ่ง (static Leakage) (ที่ 300 ช.ม.ใช้งาน)	1 Guart / ช.ม. 1 แกลลอน/ช.ม. (CV/CVN)
	การรั่วไหลสูงสุดขณะเพลาหมุน (dynamic Leakage) (ที่ 300 ช.ม.ใช้งาน)	1 แกลลอน/ช.ม. 8 แกลลอน/ช.ม. (CV/CVN)
	การรั่วไหลที่ต้องเปลี่ยนซีล (replacement Leakage)	มากกว่า 1 แกลลอน/ช.ม. 8 แกลลอน/ช.ม. (CV/CVN) หรือ 3 แกลลอน/นาที ทุกๆ เวลา
Rubber – Lip - Type Face Seal	การรั่วไหลสูงสุดขณะเพลาอยู่นิ่ง (static Leakage)	1 ออนซ์/นาที
	การรั่วไหลสูงสุดขณะเพลาหมุน (Dynamic Leakage)	1 แกลลอน/นาที
	การรั่วไหลที่ต้องเปลี่ยนซีล (Replacement Leakage)	3 แกลลอน/นาที

หมายเหตุ

อัตราการรั่วไหลของซีลเพลาใบจักรให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ

PINT คือหน่วยวัดขนาดของเหลว มีค่าเท่ากับ 1/8 แกลลอน หรือ 1/2 ควอร์ต (GUART)

1 PINT เท่ากับ 2 ถ้วย/1 ถ้วย เท่ากับ 8 ออนซ์

CV/CVN เรือบรรทุกเครื่องบิน/เรือบรรทุกเครื่องบินชั้นนิวเคลียร์

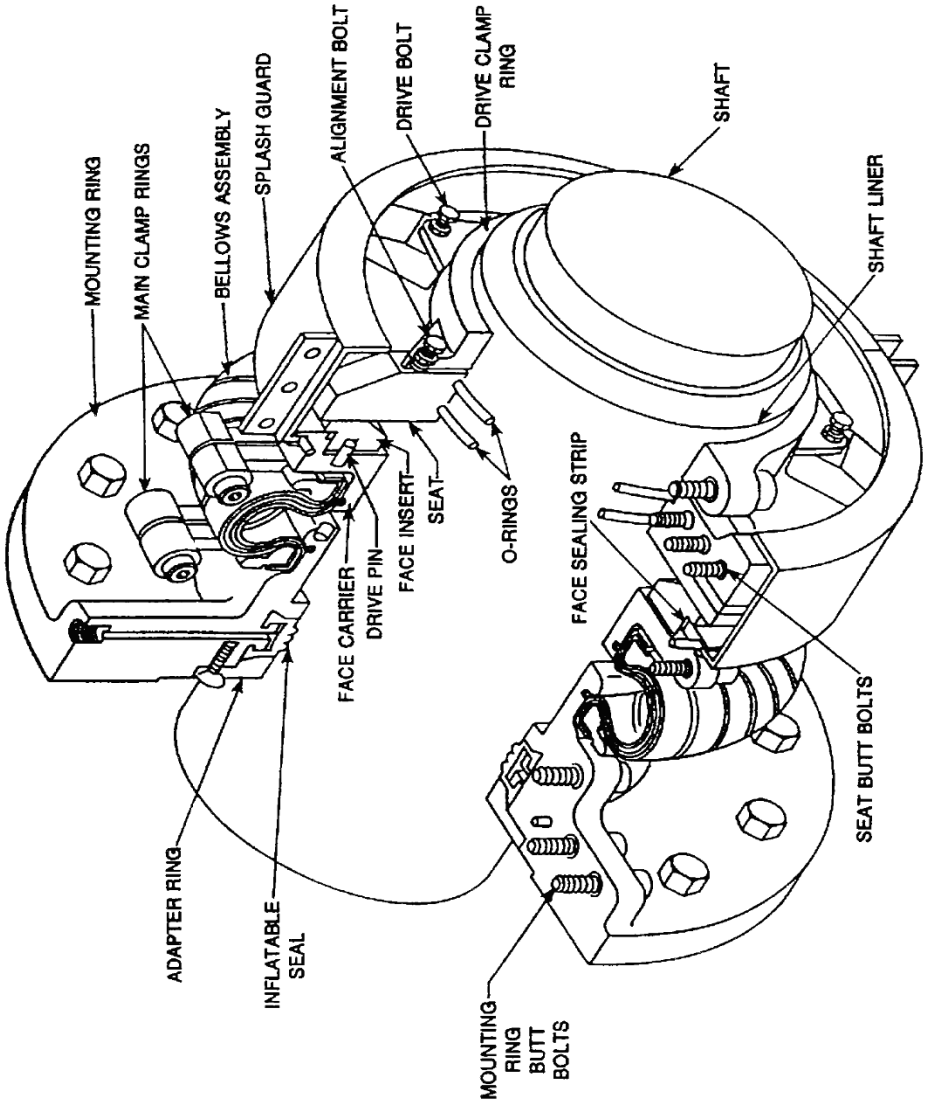
3. Crane Mechanical – Type Face Seal

3.1. โครงสร้างและส่วนประกอบ

โครงสร้างและส่วนประกอบของซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักรแบบ Crane type MX9 มีลักษณะเป็นโครงสร้างแยกส่วน หล่อลื่นด้วยน้ำ ติดตั้งอยู่ภายในกระบอกดีฟุตด้านภายในตัวเรือ โดยมีสปริง (Bellow Assembly) และแรงดันไฮดรอลิคเป็นกลไกลที่ทำให้เกิดภาวะสมดุลและทำหน้าที่ควบคุมแรงดันที่เกิดผิวสัมผัส (Face–to-Seal) การป้องกันรั่วของซีล ประเภทนี้เกิดขึ้นได้เมื่อมีการสัมผัสกันในแนวตั้งฉากระหว่างซีล (O-ring) กับเพลาใบจักร และการสัมผัสกันอย่างต่อเนื่องของซีล ชุดติดตั้งอยู่กับที่ (Face Inserted) และซีลชุดที่หมุนไปกับเพลาใบจักร (Seat) (ดูภาพประกอบ) ซีลแบบ Crane Type MX9 สามารถใช้งานร่วมกับซีลธรรมดาแบบฝาอัดกระบอกดีฟุตได้ในกรณีฉุกเฉิน และสามารถใช้งานซีลพองลม (Inflatable Seal)ได้ในกรณีต้องการตรวจสอบเมื่อมีน้ำเข้าเรือ หรือเมื่อมีการปรับแต่ง/ซ่อมทำซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร

3.2. ระบบท่อทาง (Piping System)

ประกอบด้วยระบบน้ำทะเล (Sea Water System) และระบบลมกำลังดันต่ำ (Low Pressure Air System) ระบบน้ำทะเลทำหน้าที่หล่อลื่นและระบายความร้อนแบริ่งและซีลกระบอกดีฟุต ส่วนระบบลมกำลังดันต่ำ (หรือกำลังดันจากขวด Co2) ทำหน้าที่จ่ายลมเข้าซีลพองลม โครงสร้างของระบบท่อทางน้ำทะเลที่ใช้กับซีล MX9



Crane Type MX9 Stern Tube Shaft Seal

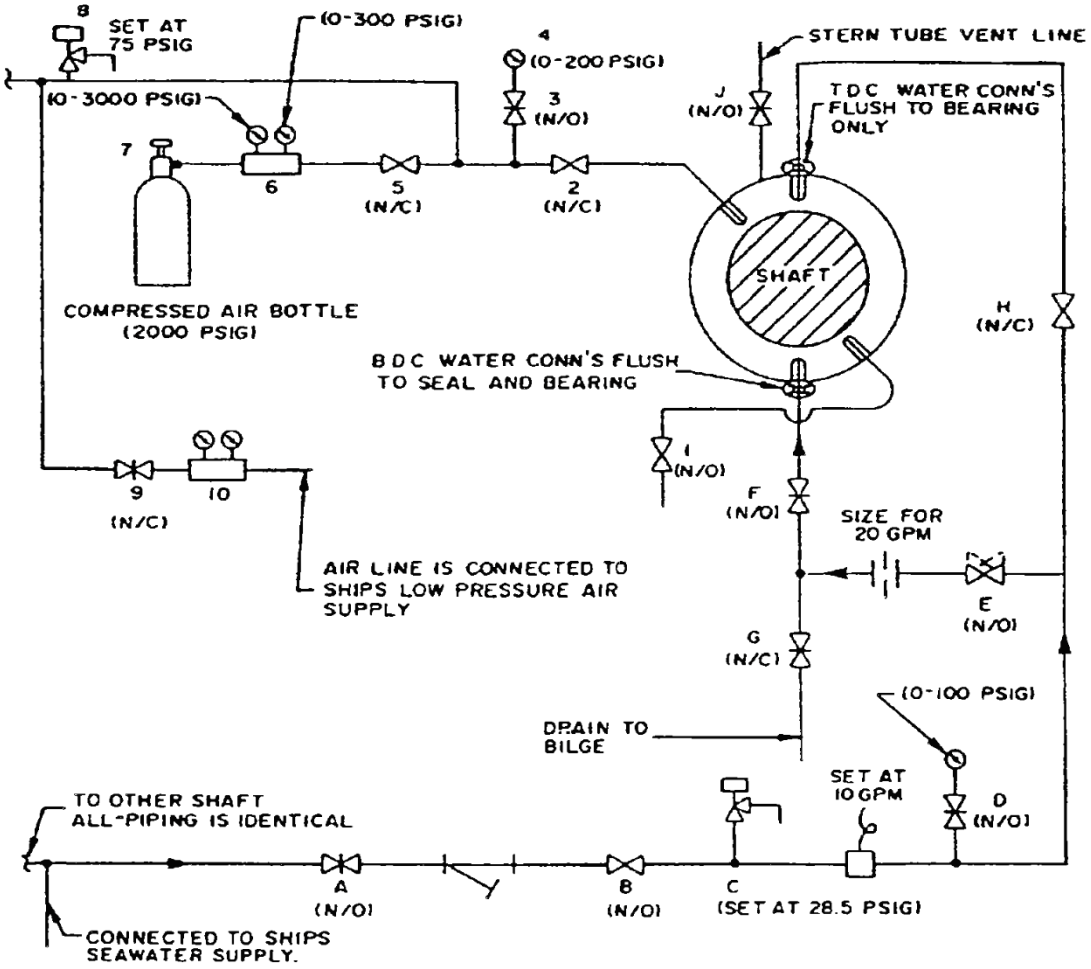
3.3. อุปกรณ์ควบคุมและแสดงค่าการทำงาน (Control and Indicator)

อุปกรณ์ต่อไปนี้ถูกติดตั้งอยู่ในระบบท่อทางน้ำทะเลและท่อทางระบบลม (Air supply) เพื่อควบคุมการทำงานของซีลกระบอกดีฟุต MX9 มีรายละเอียด ดังนี้

ก. อุปกรณ์ตรวจสอบการไหลเวียนของน้ำทะเลในระบบ (Water Flow Indicator) ทำหน้าที่ส่งค่าและแสดงสัญญาณเตือนที่ห้องควบคุมเมื่อน้ำในระบบกำลังดันไม่ได้ตามเกณฑ์

ข. เกจวัดกำลังดันน้ำทะเล ติดตั้งในระบบท่อทาง

ค. เกจวัดกำลังดันลมของซีลพองลม ติดตั้งอยู่ในระบบท่อทางลม



SYMBOLS			
	LINE CONNECTION		ORIFICE
N/O	NORMALLY OPEN		PRESSURE RELIEF VALVE
N/C	NORMALLY CLOSED		PRESSURE REGULATOR
	DIRECTION OF FLOW-WATER		PRESSURE GAGE
	Y TYPE STRAINER 1/16" DIA. HOLES		GATE VALVE
	ELECTRIC FLOW SENSOR		GLOBE VALVE (AIR OR WATER)

Typical Crane MX9 Stern Tube Seal Air and Water Piping Arrangement

3.4. การใช้งาน (Operation)

ซีล Crane type MX9 สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องมีการปรับแต่งใดๆ จากเจ้าหน้าที่ ด้วยการเปิดลิ้นให้น้ำทะเล (Seawater Flush) เข้าไปทำงานภายในชุดซีลด้วยอัตราการไหลอย่างถูกต้อง (อัตราการไหลของน้ำทะเล 15 GPM ที่กำลังดัน 20 PSI หรือ 20 GPM ที่กำลังดัน 25 PSI ขึ้นอยู่กับรุ่นหรือแบบที่ใช้) และเปิดลิ้นระบายอากาศ (Vent) ของระบบท่อทางน้ำทะเลหล่อกระบอกดีฟุตเพื่อไม่ให้มีอากาศตกค้างอยู่ตามส่วนต่างๆ กำลังดันที่กระทำบนผิวสัมผัสระหว่างซีลที่เกิดจากกำลังดันสปริงและกำลังดันไฮดรอลิคในชุดแบลโล่นั้น กำลังดันไฮดรอลิคเป็นกำลังดันที่เกิดจากน้ำทะเลภายนอกตัวเรือที่กระทำในชุดแบลโล่ ซึ่งแรงดันสปริงและแรงจากไฮดรอลิคนี้ทำให้ผิวสัมผัสของซีลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ สามารถป้องกันการรั่วไหลได้เป็นอย่างดีแม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงแรงดันหรือผิวสัมผัสของซีลจะมีการสึกหรอไปบ้างแล้วก็ตาม ชุดแบลโล่เป็นส่วนประกอบทำให้ซีลเพลาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทุกสถานการณ์ เช่น ขณะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเปลี่ยนแปลงภาระที่กระทำต่อเพลาใบจักร ความสั่นสะเทือน การสึกหรอของแบริ่ง หรือแม้แต่ในขณะเกิดการเยื้องศูนย์ที่เพลาใบจักร เป็นต้น

การใช้งานสภาวะปกติและการใช้งานในสภาวะฉุกเฉินของซีล Crane type MX9 ให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเท่านั้น

3.5. การซ่อมบำรุง (Maintenance)

ไม่มีการซ่อมบำรุงใดๆ ที่สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพของซีลได้ แต่อย่างไรก็ตามการซ่อมบำรุงซีล MX9 ให้ปฏิบัติตาม PMS และคู่มือเรือ (ตัวอย่างตารางการซ่อมบำรุงซีล MX9 เท่านั้น)

3.6. การซ่อมทำใหญ่ (Seal Overhaul)

จากตัวอย่างตารางการซ่อมบำรุงซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร ได้กำหนดให้ครบวงรอบการซ่อมทำใหญ่ทุกๆ 5 ปี โดยกำหนดให้ต้องถอดส่วนประกอบต่างๆ เพื่อตรวจสอบสภาพ วัดค่า ซ่อมทำหรือเปลี่ยนใหม่ส่วนประกอบที่ชำรุด ตัวอย่างของส่วนประกอบที่ต้องถอด เช่น ส่วนประกอบที่เป็นยางทั้งหมด ชุดแบลโล ถอดเปลี่ยน Face Insert และปรับแต่งหรือเปลี่ยน Seat (ซีลชุดหมุนที่ติดกับเพลาใบจักร) ขึ้นอยู่กับความหนาของผิวสัมผัส เป็นต้น ระยะการสึกหรอของ Face Insert และ Seat และรายละเอียดเกี่ยวกับความหนา (ของใหม่) การสึกที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ความหนาที่ต้องเปลี่ยน ให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือเท่านั้น

ตารางการซ่อมทำบำรุง ซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักรแบบ MX 9

ความต้องการการบำรุงรักษา	ระยะเวลาในการบำรุงรักษา
ตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศและน้ำที่ซีลพองลมขณะที่ไม่มีการหมุนเพลาใบจักร	ทุก ๆ 6 เดือน
ตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ภายนอก วัดระยะ การสึกของหน้าสัมผัสของ Face INserte และ Seat และตรวจสอบการเยื้องศูนย์	ทุกปี

3.7. การตรวจสอบ (Inspection)

การตรวจสอบซีลกระบอกดีฟุต MX9 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง การตรวจสอบที่จะกล่าวถึงได้แก่ การตรวจสอบก่อนการใช้งาน การตรวจสอบขณะใช้งาน และการตรวจสอบเมื่อไม่มีการใช้งาน

ก. การตรวจสอบก่อนการใช้งาน (Pre-underway Inspection) ก่อนทำการหมุนเพลาใบจักรให้ตรวจสอบ ดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าลิ้น ปิด-เปิด ลมเข้าซีลพองลมอยู่ในตำแหน่งปิด
2. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าลิ้นระบายอากาศ และลิ้นลมเข้าเกจวัดกำลังดันซีลพองลมอยู่ในตำแหน่งเปิด

3. ปลดท่อทางส่งลมเข้าซีลพองลม

4. ปิดลิ้นท่อทางระบบน้ำทะเลเข้าซีลเพลา และระบบท่อทางระบาย (Drain Valve)

5. เปิดลิ้นระบายอากาศซีลเพลาออกสู่ระบบท่อทางระบายอากาศ (Vent Line)

6. เปิดลิ้นเข้าเกจวัดกำลังดัน และเปิดลิ้นน้ำทะเลเข้าระบบปรับแต่งกำลังดันน้ำทะเลให้ได้เกณฑ์ใช้งาน (20-25 PSI)

7. ตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำทะเลผ่านซีลขณะเพลาหยุดหมุน (Static Leak) ต้องไม่เกิน 1 Pint/นาที (ซีลใหม่) หรือ 1 Quart /ชม. (ภายหลังที่ซีลใช้งานแล้ว 300 ชม.)

ข. การตรวจสอบขณะใช้งาน (เรือเดินทาง) ตรวจสอบทุก 8 ชั่วโมง ดังนี้

1. ตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำทะเลผ่านซีล ต้องไม่เกินเกณฑ์

2. ตรวจสอบกำลังดันน้ำทะเลหล่อซีลกระบอกดีฟุตต้องอยู่ในเกณฑ์ (20-25 PSI)

ค. การตรวจสอบเมื่อไม่ได้ใช้งาน (Shutdown Inspection) ต้องตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำทะเลที่ซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักรทุกวัน

3.8. การแก้ไขข้อขัดข้อง (Trouble Shooting)

ซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร ถูกออกแบบการทำงานได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งใดๆ ดังนั้นการแก้ไขข้อขัดข้องจะปฏิบัติก็ต่อเมื่อตรวจพบขณะทำการซ่อมบำรุงและขณะตรวจสอบก่อนการใช้งาน หรือขณะใช้งานเท่านั้น จากตารางเป็นแนวทางการแก้ไขข้อขัดข้อง ซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร

ตารางการแก้ไขข้อขัดข้องซีลกระบอกดีฟุตแบบ MX9

อาการ	สาเหตุที่เกิดปัญหา	การแก้ไข
เกิดความร้อนที่ซีล (Seal Running Hot)	น้ำทะเลขาดระบบ (Lack of flush water)	ตรวจสอบระบบท่อทางน้ำทะเล ลิ้นต่างๆ ควรเปิดอย่างถูกต้อง/ตรวจและล้างหม้อกรองน้ำทะเล
	กำลังดันที่ผิวสัมผัสสูงเกินเกณฑ์ (Over Compression)	ตรวจสอบระยะการทำงานของผิวสัมผัสกับที่จดบันทึกไว้เมื่อครั้งติดตั้ง ปรับแต่งใหม่ถ้าจำเป็น
	เกิดการอั้นของไอน้ำหรืออากาศภายในตัวเรือน น้ำทะเลเกิดการอุดตัน หรือไหลผ่านผิวหน้าสัมผัสไม่สะดวก	ต้องแน่ใจว่าลิ้นที่ท่อทางระบายเปิดและไม่มีอะไรอุดตันท่อทางระบาย ตรวจสอบหน้าสัมผัส Face Insert และทำให้แรงดันน้ำที่เซาะร่องไหลสะดวก
เกิดการรั่วไหลสูงเกินเกณฑ์ (มากกว่า 3 GPM)	ซีลไม่ได้ศูนย์ (Out of Alignment)	ปรับใหม่ให้ได้ศูนย์ตามคู่มือ
	กำลังดันที่ผิวสัมผัสน้อยเกินไป (Too little compression)	ตรวจสอบระยะการทำงานของผิวสัมผัสกับที่ได้จดบันทึกไว้เมื่อครั้งติดตั้ง ปรับแต่งใหม่ถ้าจำเป็น

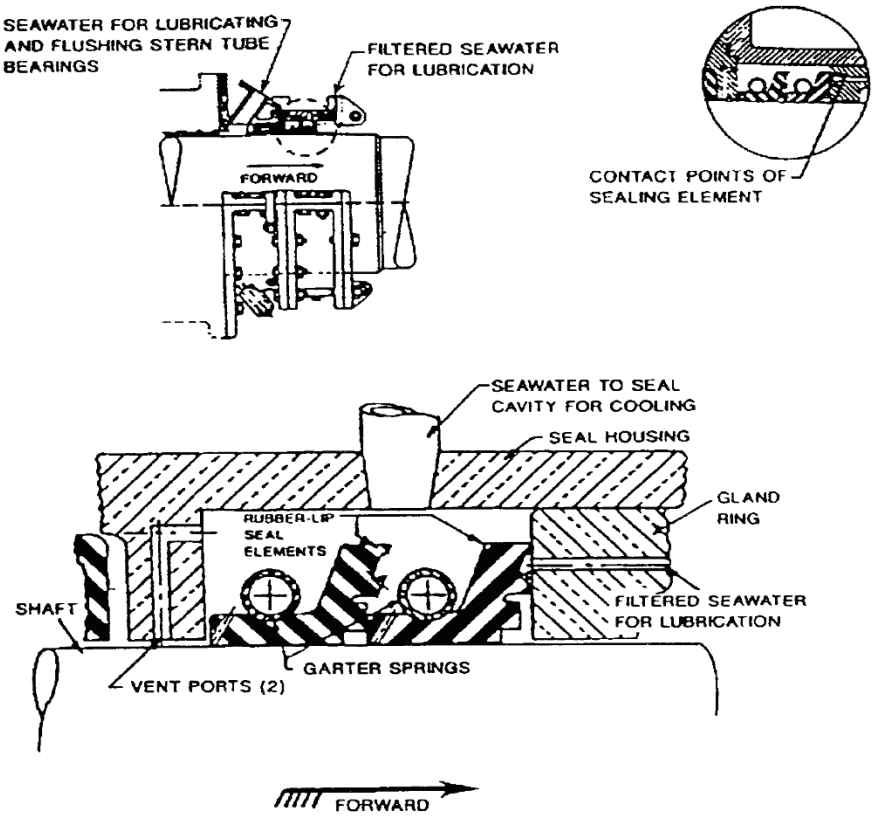
	O-rings หรือ sealing strips ชำรุด	เปลี่ยนส่วนประกอบที่ชำรุด
	Face insert ชำรุด	เปลี่ยน Face insert และปรับแต่งผิวสัมผัส seat
ความสั่นสะเทือนสูงเกินเกณฑ์ (Excessive Vibration)	ซีลไม่ได้ศูนย์ (Out of alignment)	ปรับใหม่ให้ได้ศูนย์ตามคู่มือ

4. Rubber-Lip Face Seals

เป็นซีลที่ใช้งานในเรือรุ่นเก่าของ ทร.อม.ผลิตโดยหลาย ๆ บริษัท ใช้ชื่อว่า Syntron Seals

4.1.โครงสร้างส่วนประกอบของ Syntron Seals

โครงสร้างแยกส่วนของ Syntron Seals ประกอบด้วยตัวเรือน (Housing) สร้างด้วยโลหะหล่อ (Bronze Casting) ภายในตัวเรือนประกอบด้วยซีลยางหรือ Rubber-Lip Seal Element จำนวน 2 ชุด ซึ่งซีลยางแต่ละชุดสามารถสับเปลี่ยนกันได้ ผิวสัมผัสระหว่างซีลยางและปลอกเพลาใบจักรระบายความร้อนและหล่อลื่นด้วยน้ำทะเล (น้ำทะเลไหลจากช่องทางภายในฝาอัด (Gland Ring) ผ่านซีลชุดหน้าเข้าไปภายในตัวเรือน) ซีลพองลมเป็นส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่ภายในช่องว่างของตัวเรือน การอัดซีลพองลมโดยใช้ลมกำลังดันต่ำจากเครื่องอัดลม ซึ่งการงานในกรณีซ่อมทำซีลขณะที่เรือลอยลำอยู่ในน้ำเท่านั้น



แสดงโครงสร้าง ส่วนประกอบ Syntron Rubber-Lip Stern Tube Shaft Seal

4.2. การใช้งาน (Operation)

Syntron Seals ทำงานอัตโนมัติในทันทีที่มีน้ำทะเลไหลผ่านเข้าไประบายความร้อนในห้องซีล และมีน้ำทะเลไหลผ่าน Gland Ring โดยเปิดลิ้นน้ำและตรวจสอบกำลังดันน้ำทะเลให้ได้ตามเกณฑ์ (เมื่อปฏิบัติกับระบบน้ำทะเลดังกล่าวเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถหมุนเพลาใบจักรได้) ส่วนการเลิกใช้งานให้ปฏิบัติด้วยวิธีเลิกระบบน้ำทะเลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด รายละเอียดด้านการใช้งานและการเลิกให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือ

4.3.การใช้งานกรณีฉุกเฉิน (Emergency Seal Operation)

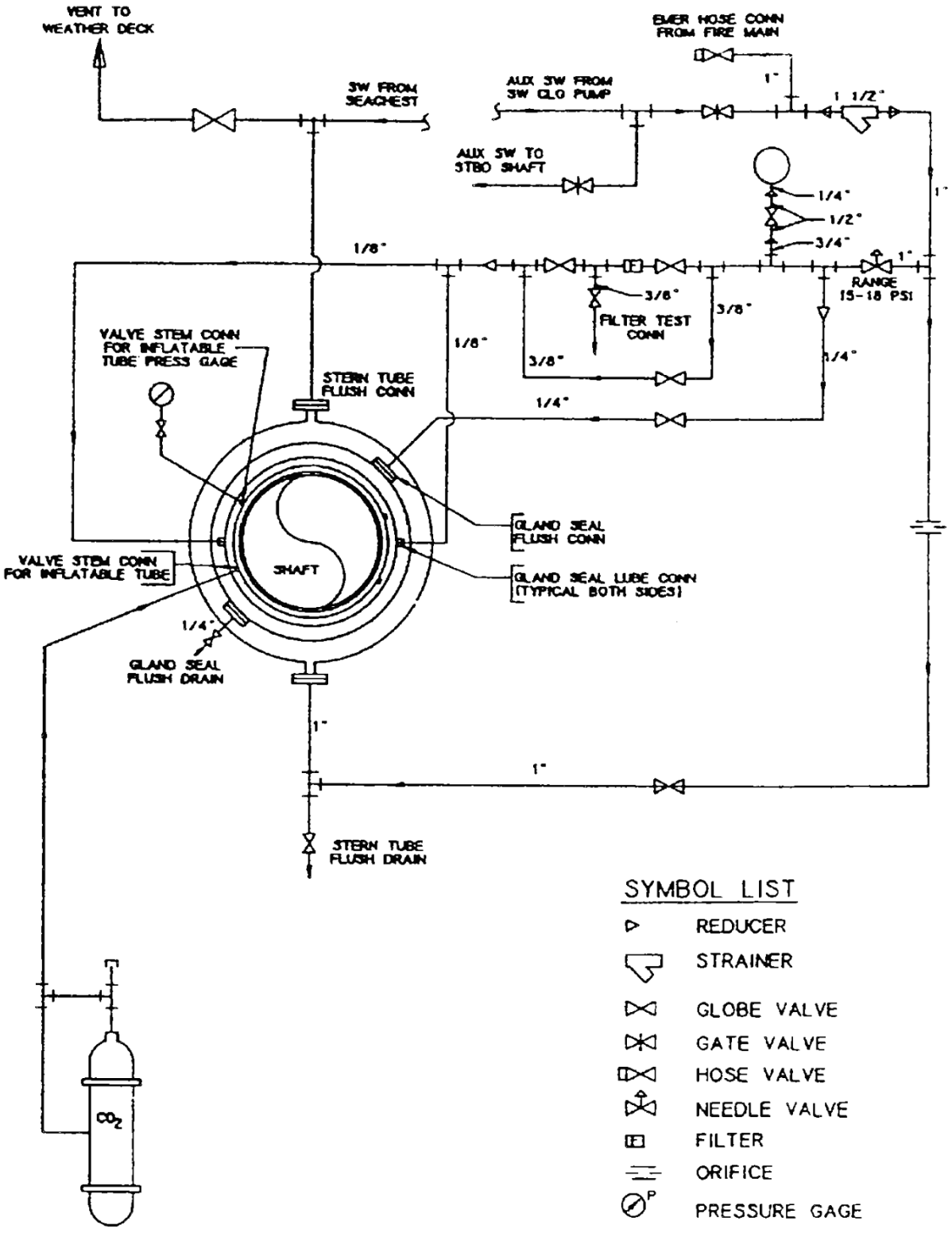
ในกรณีเกิดการชำรุด การเปลี่ยนเป็นซีลแบบแป๊กกิ้งธรรมดา (Stuffing Box) ขณะเรือลอยลำอยู่ในน้ำกระทำโดย อัดซีล พองลม เปิดตัวเรือนและถอดชุดซีล Syntron ออกแล้วเปลี่ยนใส่แป๊กกิ่งลงไปแทน ต่อจากนั้นปิดฝาตัวเรือน ระบายลมออกจากซีลพองลม ตรวจสอบและปรับแต่งการรั่วไหลของน้ำทะเลผ่านซีลให้อยู่ในเกณฑ์ การปฏิบัติในการเปลี่ยนซีลกรณีฉุกเฉินดังกล่าวให้ศึกษาโดยละเอียดจากคู่มือเรือเท่านั้น

4.4. การควบคุมและอุปกรณ์ควบคุม (Control and Indicators)

ตารางการปฏิบัติ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมการใช้งานซีล Syntron ซึ่งได้แก่ระบบน้ำทะเลและระบบอากาศอัดซีลพองลมและรายละเอียดของระบบน้ำทะเลและระบบอากาศอัดซีลพองลมของซีล Syntron

ตารางการปฏิบัติ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมการใช้งานซีล Syntron (Rubber-Lip- Seal)

ชื่ออุปกรณ์ควบคุม	วัตถุประสงค์ หรือการทำงาน	สถานที่ติดตั้ง	การใช้งาน	ตำแหน่ง หรือค่าที่ต้องการใช้งาน
Stern Tube Flush Inlet Valve	เปิด-ปิด น้ำทะเลหล่อกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร	ท่อทางน้ำทะเลเข้ากระบอกดีฟุต	เปิด เมื่อเริ่มใช้งาน และ ปิด เมื่อเลิกใช้งาน	เปิด
Seal Cavity Flush Inlet Valve	เปิด-ปิด น้ำทะเลหล่อภายในห้องซีล (Seal Cavity)	ท่อทางน้ำทะเลเข้าห้องซีล	เปิด เมื่อเริ่มใช้งาน และ ปิด เมื่อเลิกใช้งาน	เปิด
Needle Reduce Valve	ลดกำลังดันน้ำทะเลหล่อภายในห้องซีล (Seal Cavity)	ระหว่างระบบน้ำทะเลและท่อทางน้ำทะเลเข้าห้องซีล	ปรับแต่งกำลังดันน้ำทะเลเข้า Gland Ring และ ห้องซีล	15-18 psi
เกจวัดกำลังดัน	แสดงกำลังดันน้ำทะเลที่ท่อทางออกของ Reduce Valve	ท่อทางระหว่าง Reduce Valve และตัวเรือนซีล	ขณะใช้งาน	15-18 psi
น้ำทะเลรั่วออกจากซีล	แสดงน้ำทะเลรั่วไหลผ่านซีล	ด้านใต้ของซีล	ขณะใช้งาน	สูงสุด 3 GPM /หรือ 1 ปี้น/นาที เมื่อซีลติดตั้งใหม่



Typical Syntron Rubber-Lip Seal Air and Water Piping Arrangement

4.5. การซ่อมบำรุง (Maintenance)

ซีล Syntron ถูกออกแบบสำหรับการใช้งานที่ยาวนานและปราศจากข้อขัดข้องใดๆ ถ้ามีการซ่อมบำรุงป้องกันตามระยะเวลาที่ถูกต้อง อัตราการรั่วไหลของน้ำทะเลที่รั่วผ่านซีลจะบอกให้ทราบถึงสภาพของซีลภายใน เฉพาะงานการซ่อมทำ (Corrective Maintenance) ที่สามารถทำได้ เช่น การเปลี่ยนซีล เปลี่ยนสปริงนัตหรือสกรู และเปลี่ยนหรือซ่อมทำผิวสัมผัสของ Gland Ring เป็นต้น ถ้ามีการสึกมากเกินไป รวมทั้งมีการรั่วไหลของน้ำทะเลเกิน 3 แกลลอน/นาที ให้เปลี่ยนชุดซีลยางใหม่ งานการซ่อมบำรุงป้องกัน (Preventive Maintenance) เช่น การรั่วไหลของอากาศและน้ำที่ซีลพองลม เปลี่ยนไส้กรองของหม้อกรองน้ำทะเล (ถ้ามี) ตรวจรั่วตามระยะเวลาของซีลกระบอกดีฟุตและท่อทางน้ำทะเล เป็นต้น รายละเอียดของขั้นตอนการปฏิบัติให้ศึกษาจาก PMS หรือคู่มือเรือ

หมายเหตุ

ไม่ควรเปิดตัวเรือซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร เพียงเพื่อต้องการตรวจสอบหน้าสัมผัสของซีลเท่านั้น

ตารางการซ่อมบำรุงป้องกันซีล Sytron

รายการซ่อมบำรุง	เวลา
ตรวจสอบอัตราการรั่วไหลของน้ำทะเลผ่านซีล	ทุกวัน
ตรวจสอบและปรับแต่งกำลังดันน้ำทะเลที่ Needle REduce Valve	ทุกวัน
ตรวจสอบและทำความสะอาดไส้กรองหม้อกรองน้ำทะเล	ทุก 3 เดือน
ทดลองซีลพองลมและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	ทุก 6 เดือน

4.6. การปรับซ่อมใหญ่ (Seal Overhaul)

การปรับซ่อมใหญ่ของซีลกระบอกดีฟุตแบบ Syntron เป็นการซ่อมทำเมื่อเรือเข้าอู่ งานที่สำคัญคือการเปลี่ยนซีลพองลมและชุด Syntron Seal รายละเอียดตามคู่มือเรือ

4.7. การตรวจสอบ (Inspection)

การตรวจสอบ Rubber-Lip- Seal เป็นสิ่งที่ต้องทำเมื่อพบว่าอัตราการรั่วไหลเกินเกณฑ์ ซึ่งในการนี้จะต้องทำการถอดชิ้นส่วนภายในออกตรวจด้วย แนวทางและขั้นตอนการปฏิบัติกล่าวคือ อัดซีลพองลม ถอดนัต (Hex Nut) ยึด Gland Ring และเลื่อน Gland Ring ออกไปตามเพลาใบจักร (เพื่อป้องกันน้ำท่วมเรือให้เตรียมปั๊มหรือเครื่องสูบน้ำพร้อมสายสูบติดตั้งไว้ให้พร้อม กรณีซีลพองลมขัดข้องหรือชำรุดขณะกำลังถอดซีลตรวจสอบ) ขั้นตอนต่อไปให้ถอดซีลยางออกจากตัวเรือน ถ้าผลการตรวจพบว่าชำรุด อาจซ่อมทำฉุกเฉินด้วยการใช้แป๊กกิ้งก็ได้ แต่ให้เปลี่ยนไปใช้ซีลยางใหม่ให้เร็วที่สุด และปรับผิวสัมผัสของ Gland Ring ให้ตั้งฉากรับกับผิวสัมผัสของซีลยางที่เปลี่ยนใหม่ด้วย (ระยะห่างระหว่างผิวสัมผัสควรอยู่ที่ประมาณ 0.006 – 0.120 นิ้ว หรือตามคู่มือกำหนด ซีลจึงจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ) นอกจากนั้น ถ้าปลอกเพลาใบจักรมีลักษณะเป็นร่องเกิดขึ้น แสดงถึงซีลยาง Syntron ทำงานผิดปกติ เกิดจากปลอกเพลาและเพลาใบจักรเลื่อนหรือเกิดการขยับตัวได้ ซึ่ง ทร.อม. ได้ดำเนินการแก้ไขโดยเสริมด้วยเรซิน (Epoxy Insert) เพื่อเพิ่มความยึดเกาะเข้าไปภายในปลอกเพลาใบจักร และปิดลิ้นน้ำทะเลผ่าน Gland Ring เพราะซีลมีการหล่อลื่นอยู่ภายในตัวเองแล้ว

4.8. การแก้ไขข้อขัดข้อง (Trouble Shooting)

ตารางแสดงแนวทางแก้ไขข้อขัดข้องของ Rubber-Lip- Face Seal ที่บอกถึงอาการ สาเหตุ และการแก้ไข

ตารางแสดงการแก้ไขข้อขัดข้อง Rubber-Lip- Face Seal

อาการ	สาเหตุ	การแก้ไข /ซ่อมทำ
ผิวสัมผัสของซีลสึกหลอเร็วกว่ากำหนด (Premature Wear of Seal Face)	น้ำทะเลหล่อลื่นและระบายความร้อนน้อยกว่าเกณฑ์	ตรวจสอบ /ซ่อมทำระบบน้ำทะเล
	ห้องซีล (Seal Cavity) สกปรก	ถอด Gland Ring ออก ตรวจสภาพภายในและทำความสะอาด
	ผิวสัมผัสของ Gland Ring ชำรุดขณะทำการติดตั้ง	ถอด Gland Ring ตรวจสภาพผิวสัมผัสของชุดซีล
ตัวเรือนซีลมีอุณหภูมิสูงเกินเกณฑ์ขณะใช้งานด้วยซีลแบบแป๊กกิ้ง (Overheating)	กวดฝาอัดแป๊กกิ้งแน่นเกินไปจนน้ำทะเลไหลผ่านซีลไม่ได้	คลายฝาอัดแป๊กกิ้ง หรือเพิ่มอัตราการไหลของน้ำทะเล หรือ ปฏิบัติทั้ง 2 อย่างที่ได้กล่าว
อัตราการรั่วไหลของน้ำทะเลน้อยหรือน้ำทะเลหยุดรั่วไหล (Little or No Leakage)	หม้อกรองน้ำทะเลอุดตัน	เปลี่ยน /ทำความสะอาดไส้กรอง
	ปรับแต่ง Needle Reduce Valve ไม่ถูกต้อง	ปรับแต่งใหม่ เพิ่มอัตราการไหลของน้ำทะเลให้สูงขึ้น
อัตราการรั่วไหลของน้ำทะเลสูงเกินเกณฑ์ (Excessive Leakage)	ผิวสัมผัสของซีลสึก	ถอด /ตรวจสภาพซีล(ผิวสัมผัส) เปลี่ยนใหม่ถ้าสึกหลอเกินเกณฑ์
	ซีล O-Rings ชำรุด	เปลี่ยน O-Rings
	ปรับแต่งระยะระหว่าง Gland Ring กับ ชุดซีล ไม่ถูกต้อง	ปรับแต่งใหม่ ให้ได้ระยะ 0.006 - 0.120 นิ้ว

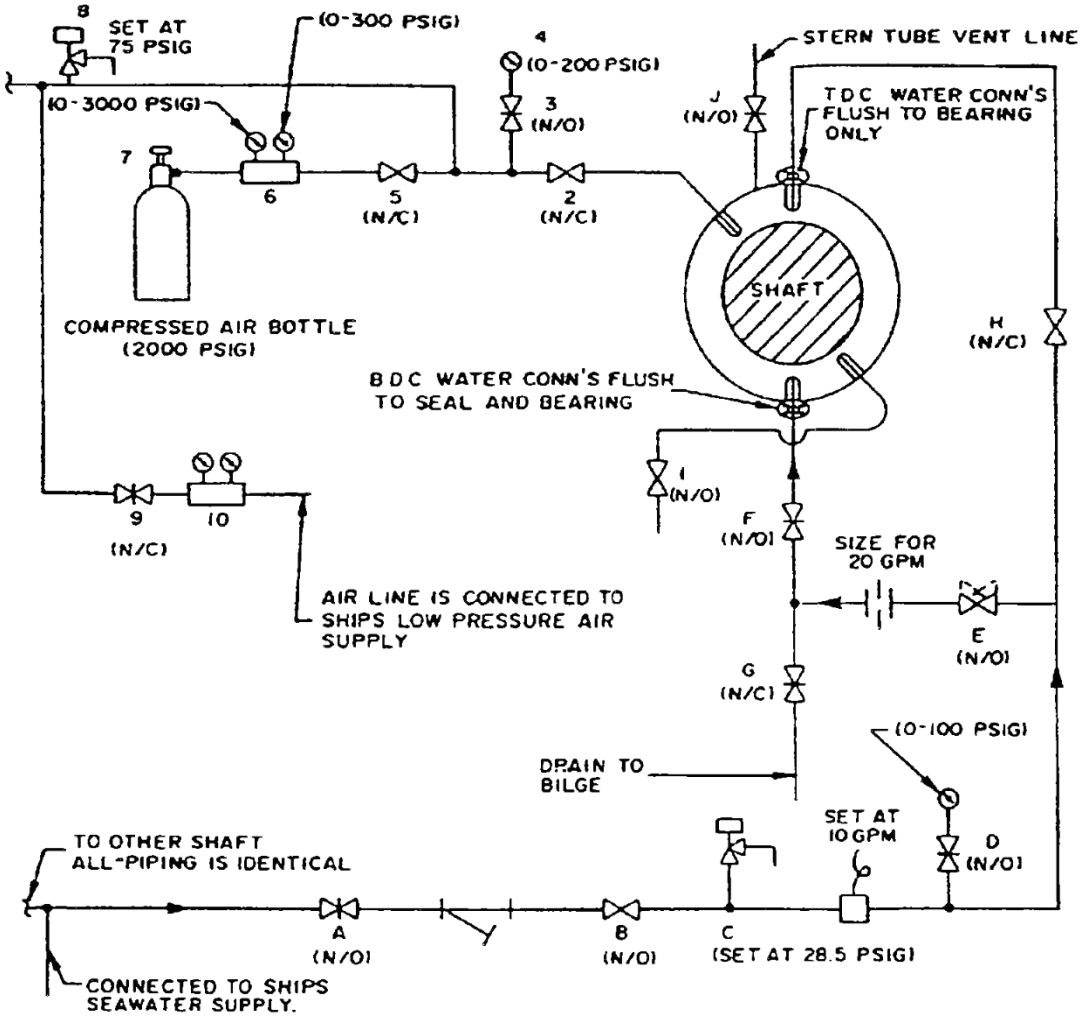
5. ซีลพองลม (Inflatable Seal)

ซีลพองลมเป็นส่วนประกอบภายในของซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร เช่น ซีลพองลมของซีล MX9 มีลักษณะเป็นยางยืดหยุ่นขนาดเล็ก-แคบ ติดตั้งรวมอยู่ภายใน Mounting Ring ด้านใต้ติดกับเพลาใบจักร (ดูภาพที่ 1-1) ที่ตัวเรือนซีลพองลมมีชุดข้อต่อลมสำหรับต่อกับระบบลมกำลังดันต่ำ (หรือขวด CO2) เมื่อทำการอัดลมเข้าซีลพองลม แรงดันจะทำให้ซีลพองลมเกิดการขยายตัวลงไปสัมผัสกับเพลาใบจักร เกิดเป็น Static Seal ป้องกันน้ำเข้าเรือได้ การใช้งานซีลพองลมจะต้องใช้ในขณะเพลาใบจักรหยุดนิ่งเท่านั้น ทั้งนี้ ถ้าใช้ในขณะเพลาหมุน แรงดันภายในจะทำให้ส่วนประกอบของซีลพองลมที่เป็นยาง

ชำรุด การเปลี่ยนซีลพองลมที่ชำรุดต้องกระทำขณะเรือเข้าอู่เท่านั้น การติดตั้งและการใช้งานซีลพองลมให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเท่านั้น

5.1. การใช้งาน (Operation)

รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งานซีลพองลมให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือเฉพาะลำ และมีข้อระมัดระวังอันตรายที่ต้องปฏิบัติอย่างเคร่งครัด เช่น ต้องระบายลมออกจากซีล พองลมก่อนหมุนเพลาใบจักร และให้ใช้งานซีลพองลมเฉพาะเวลาที่ทำการซ่อมทำ Seal Element เท่านั้น /ไม่ควรอัดลมเกิน 125 PSi หรือตามที่คู่มือกำหนด รวมทั้งต้องไม่หมุนเพลาใบจักรขณะอัดซีลพองลม เพราะการหมุนเพลาใบจักรจะทำให้ซีลพองลมชำรุดและไม่สามารถใช้งานต่อไปได้



SYMBOLS			
—●—	LINE CONNECTION		ORIFICE
N/O	NORMALLY OPEN		PRESSURE RELIEF VALVE
N/C	NORMALLY CLOSED		
◄	DIRECTION OF FLOW-WATER		PRESSURE REGULATOR
	Y TYPE STRAINER 1/16" DIA. HOLES		PRESSURE GAGE
	ELECTRIC FLOW SENSOR		GATE VALVE
			GLOBE VALVE (AIR OR WATER)

Typical Crane MX9 Stern Tube Seal Air and Water Piping Arrangement

5.2. การทดลองซีลพองลม (Test)

การทดลองซีลพองลมควรกระทำทุกๆ 6 เดือน เพื่อตรวจการรั่วไหลของอากาศและน้ำทะเล มีแนวทางปฏิบัติ ดังนี้

1. หยุดเพลา และแขวนป้าย “ห้ามหมุนเพลาใบจักร” แจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ
2. ล็อคเพลาใบจักร แขวนป้าย “ห้ามเดินมอเตอร์หมุนเครื่อง”
3. เปิดลิ้นน้ำทะเลระบายความร้อนและหล่อลื่นซีลกระบอกดีฟุตทั้งหมด

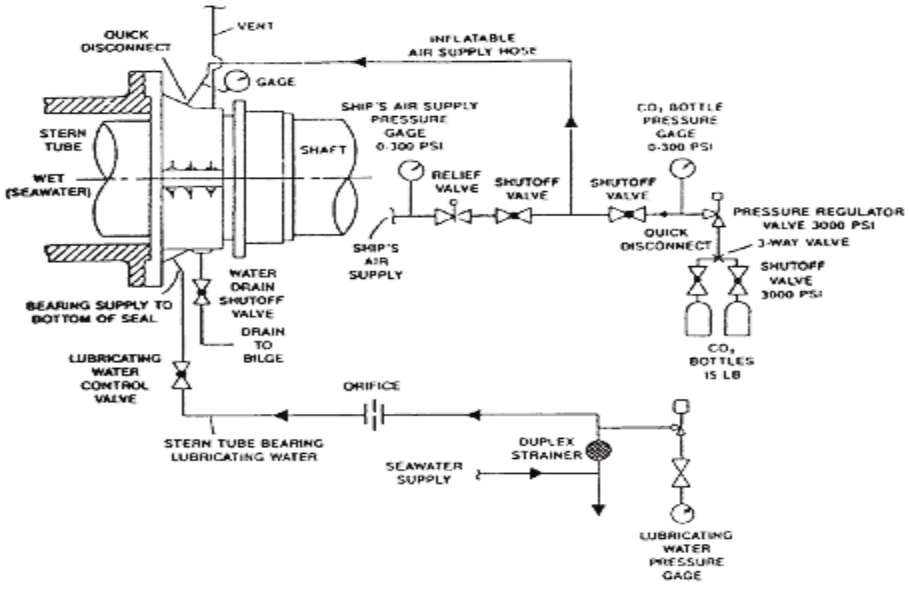
ข้อระมัดระวังอันตราย (Caution)

เพื่อป้องกันซีลพองลมชำรุด ห้ามอัดลมซีลพองลมเกินกว่า 125 PSI (หรือตามที่คู่มือ) ขณะทดลอง

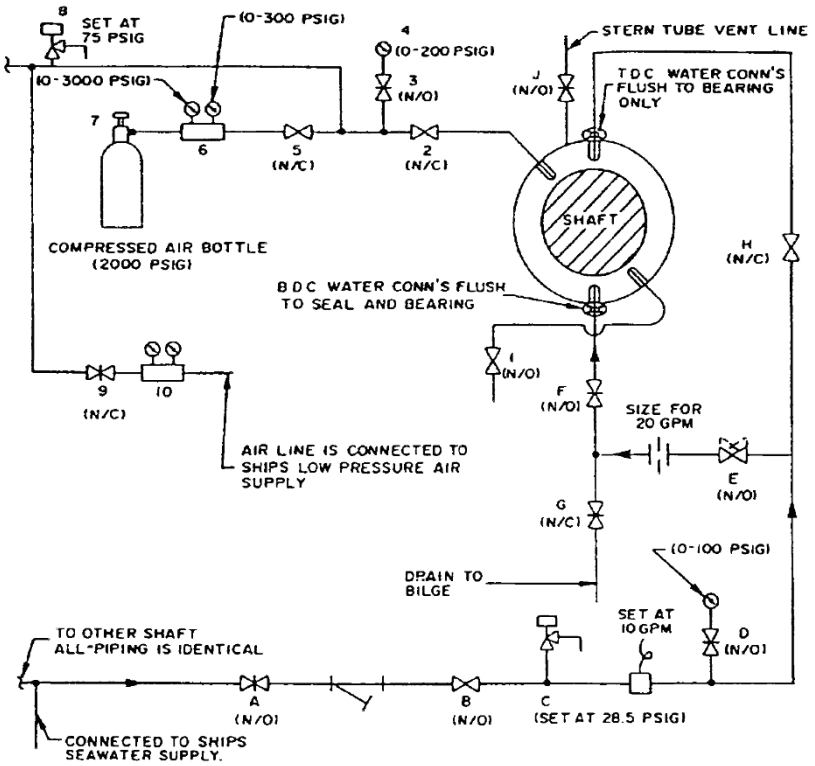
4. เปิดลมเข้าซีลพองลม (ขั้นตอนการปฏิบัติตามคู่มือ)
5. ตรวจสอบการรั่วไหลตามระบบท่อทางลม
6. ปิดลิ้นจ่ายลมเข้าซีลพองลม ตรวจสอบการรั่วไหลของลมที่เกจวัดกำลังดัน กำลังดันลมตกได้ไม่ควรเกิน 5 PSiG ใน 15 นาที (ซีลพองลมใหม่ยังไม่เคยใช้งาน) และไม่ควรเกินกว่า 30 PSiG ใน 15 นาที (ซีลพองลมเคยใช้งานแล้ว)
7. เปิดลิ้นระบายซีลพองลม และลิ้นระบายห้องซีลพองลม
8. ตรวจสอบจำนวนน้ำทะเลที่รั่วผ่านซีลพองลม และรวบรวมน้ำที่รั่วจากท่อทางระบายทั้งหมด ต้องน้อยกว่า 1 Pint/นาที แต่ไม่ควรเกิน ½ แกลลอน/นาที
9. ปิดลิ้นระบายห้องซีลพองลมและลิ้นระบายซีลพองลม
10. เมื่อทดลองแล้วเสร็จ ให้ระบายลมออกจากระบบท่อทางลม และปลดข้อต่อลมเข้าซีลพองลม
11. ปลดป้าย “ห้ามหมุนเพลาใบจักร” และป้ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง แจ้งให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ เมื่อเลิกทำการทดลองซีลพองลม

6. ระบบท่อทาง (Piping System)

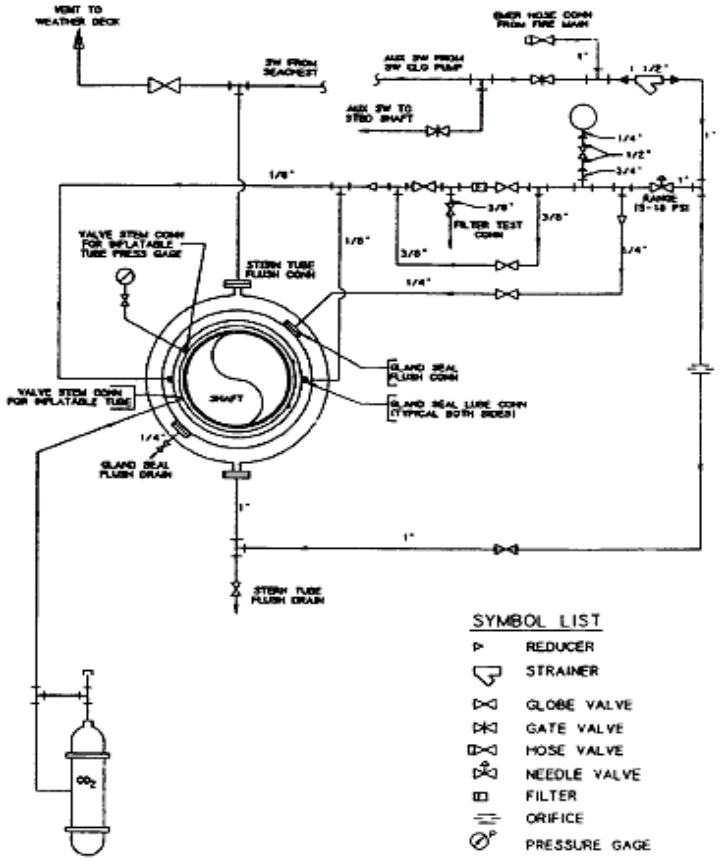
ระบบท่อทางของกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร มี 2 ระบบ คือ ระบบน้ำทะเลหล่อเพลาใบจักร และระบบลมกำลังดันต่ำอัดซีลพองลม ระบบน้ำทะเลทำหน้าที่หล่อลื่นและระบายความร้อนแบริ่งและซีลกระบอกดีฟุตเพลาใบจักร ส่วนระบบลมกำลังดันต่ำ(LP.Air) หรือขวด Co2 (ถ้ามี) ทำหน้าที่จ่ายลมเข้าซีลพองลม (ภาพแสดงโครงสร้างของระบบท่อทางน้ำทะเลที่ใช้กับซีล MX9 และซีล EG&G และ ซีล Syntron)



Typical Sealol Seal Air and Water Piping Arrangement



Typical Crane MX9 Stern Tube Seal Air and Water Piping Arrangement



Typical Syntron Rubber-Lip Seal Air and Water Piping Arrangement

7. ซีลเพลาใบจักรผนังกั้นห้องของเรือผิวน้ำ (Surface Ship Bulkhead Seal)

7.1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

ซีลเพลาใบจักรผนังกั้นห้อง ติดตั้งอยู่ในสถานที่ซึ่งเพลาใบจักรลอดทะลุผ่านผนังห้องที่มีการผนึกน้ำ (Water Tight Bulkhead) เพื่อป้องกันน้ำรั่วผ่านช่องว่างระหว่างเพลาใบจักรและผนังห้องเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเรือ และในเรือบางประเภทผนังกันห้องต้องผนึกอากาศได้เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกเข้าสู่ตัวเรือ หรืออากาศเกิดการถ่ายเทถึงกันระหว่างห้องขณะถูกโจมตีด้วยอาวุธสงครามเคมี ซีลเพลาใบจักรผนังห้องจึงทำหน้าที่ดังกล่าวอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบซีลหลายลักษณะตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น ในเรือรุ่นเก่าเป็นซีลชนิดแป๊กกิ้งธรรมดา (Packing-Type Stuffing Box) เรือรุ่นใหม่เป็นซีลชนิด Mechanical Seal ที่ออกแบบการทำงานเป็นหลายลักษณะ เช่น แบบกระตุ้นการทำงานเองโดยอัตโนมัติ (Self-Actuation) หรือแบบกระตุ้นการทำโดยระบบ Manual หรือ Manually Activated เป็นต้น เพราะฉะนั้น เนื่องจากความแตกต่างของซีลรุ่นเก่าและซีลรุ่นใหม่ๆ ดังกล่าว ทั้งการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษา ให้ปฏิบัติตามคู่มือเรือแต่ละลำเท่านั้น

7.2. Mechanical Bulkhead Seal

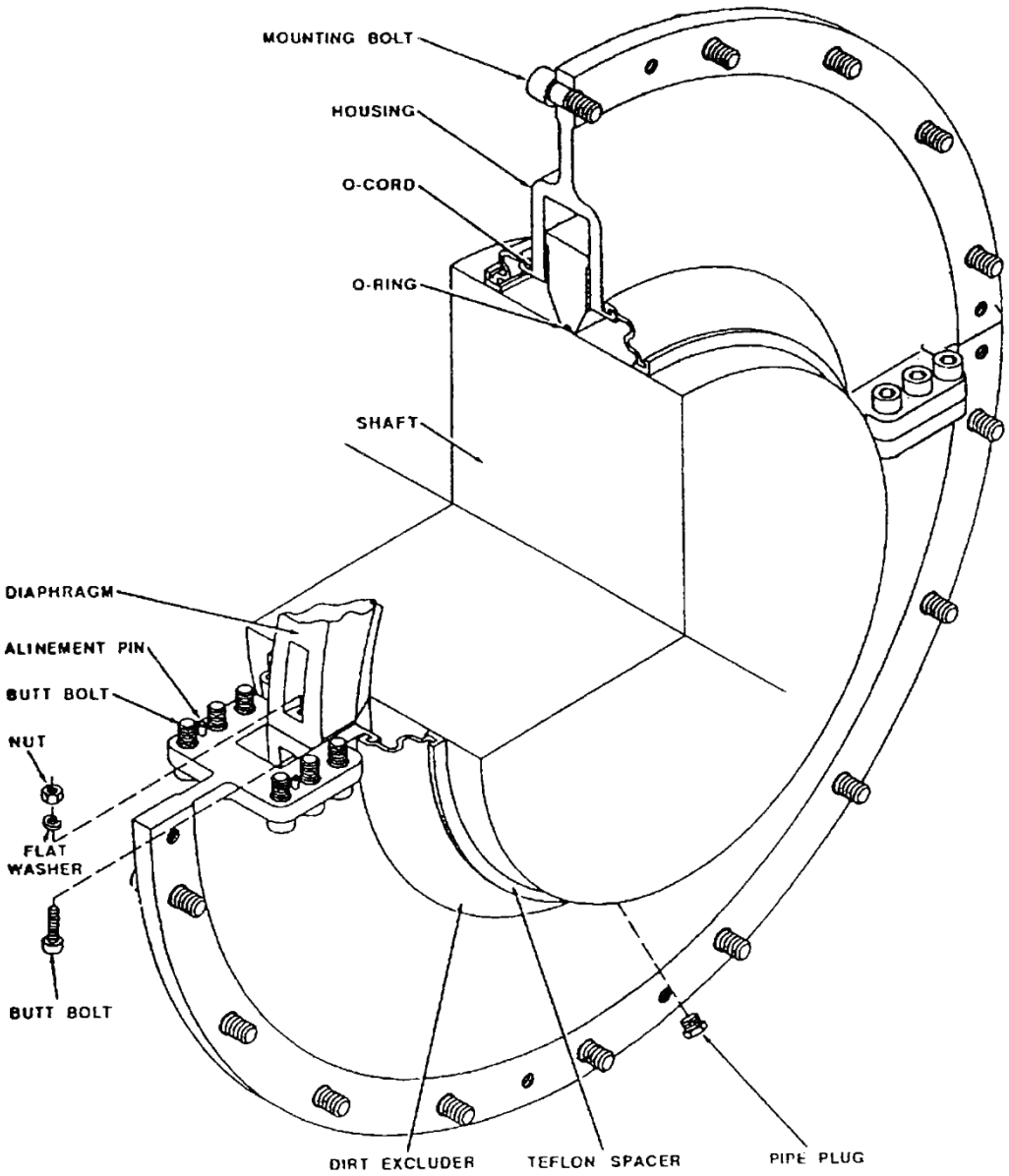
7.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ (Description)

ซีลเพลาใบจักรผนังห้องแบบ Mechanical Seal ออกแบบการทำงานทั้งโดยอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมห้อง (Self-Actuation) และแบบกระตุ้นทำงานโดย Manual ซึ่งข้อมูลที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เฉพาะโครงสร้างส่วนประกอบและการทำงานเพื่อเป็นแนวทางเท่านั้น ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับรุ่นหรือแบบที่ใช้ ลักษณะของการกระตุ้นการทำงาน และอัตราการรั่วไหลสูงสุดให้ศึกษาจากคู่มือเรือ

7.2.1.1 Crane-Type-ND Bulkhead shaft Seal

สร้างโดยบริษัท John Crane marine USA. ทำงานโดยอัตโนมัติ มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ตัวเรือน (Seal House) Diaphragm ซีล O-Ring ครอบกันฝุ่น (Dirt Excluder) แผ่นรอง (Teflon Spacer) และลูกอุด (Housing Drain Plug) ส่วนประกอบทั้งหมดสร้างด้วยวัสดุป้องกันการกัดกร่อนของน้ำทะเล มีโครงสร้างแบบแยกส่วนได้ (Split Configuration) เพื่อให้การติดตั้งและการซ่อมบำรุงซีลทำได้สะดวกโดยไม่ต้องชักเพลาใบจักร

ตัวเรือน (Housing) มีลักษณะตัวเรือนวงแหวน ประกอบติดอยู่กับผนังห้อง (Bulk Head) ภายในตัวเรือนมีชุด Diaphragm ประกอบอยู่โดยรอบเพลาใบจักร (ส่วนปลายของ Diaphragm ทำเป็นร่องสำหรับประกอบซีล O-Ring) การทำงานกล่าวคือ ในสภาวะปกติ การหมุนของเพลาใบจักรจะทำให้ชุดไดอะแฟรมหมุนตาม แต่ทันทีที่มีแรง หรือกำลังดันแตกต่างเกิดขึ้นที่ผนังกั้นห้อง(เช่น น้ำท่วมห้อง) และแรงนั้น (น้ำ) ได้แทรกผ่านแผ่นรอง (Teflon Spacer) ไปตามความยาวเพลาใบจักร เข้าไปดันไดอะแฟรมให้เกิดการขัดตัวกับตัวเรือนและหยุดหมุน รวมทั้งกดให้ซีล O-Ring มีสภาพเป็นไดนามิคซีล (ป้องกันน้ำรั่ว) แต่เมื่อกำลังดันแตกต่างที่กระทำกับผนังห้องลดลง แรงที่ไปกระทำกับชุดไดอะแฟรมก็จะลดลงด้วย และทำให้ไดอะแฟรมที่หยุดหมุนกลับมาหมุนได้ดังเดิม รวมทั้งซีล O-Ring ก็จะหมดสภาพเป็นไดนามิคซีลทันทีเมื่อกำลังดันลดลง ครอบกันฝุ่นและแผ่นรอง (Dirt Excluder and Teflon Spacer) (เป็นส่วนประกอบที่มีโครงสร้างเลื่อนตัวได้ (Movement) ตามเพลาใบจักรที่อาจจะมีการเลื่อนเกิดขึ้นตามแรงที่กระทำ) ทำหน้าที่ป้องกันผงหรือฝุ่นเข้าไปทำความเสียหายซีลภายใน อัตราการรั่วไหลสูงสุดของน้ำทะเลไหลผ่านซีล Type-ND แตกต่างกันตามรุ่นหรือแบบที่ใช้ ให้ตรวจสอบจากคู่มือเรือ



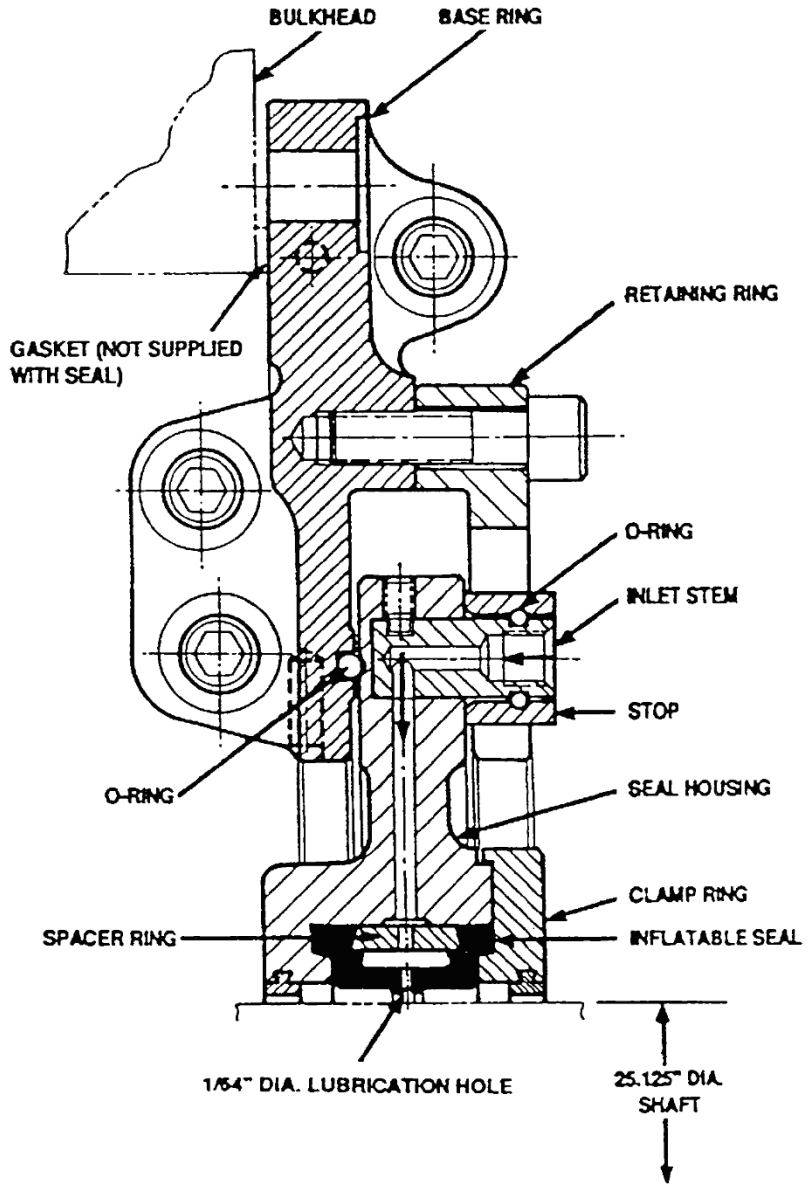
John Crane Type ND Automatic Bulkhead Seal

7.2.1.2. Tyton TR 261 Bulkhead Seal

ทำงานด้วยระบบ Manual มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ วงฐาน (Base Ring) ,Retaining Ring, ตัวเรือนซีล (Seal Housing), Clam Ring, Inflatable Seal, Spacer Ring, O-Ring และ Water Inlet Stem รายละเอียดของส่วนประกอบ คือ Inflatable Seal เป็นส่วนประกอบทำหน้าที่ป้องกันรั่ว ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนด้วย Clam Ring โดยมี Base Ring และ Retainer Ring ทำหน้าที่เชื่อมต่อโครงสร้างของตัวเรือนกับผนังห้อง ลักษณะที่สำคัญคือ ตัวเรือนซีลสามารถเลื่อนขึ้น-ลง (Slide) ในแนวรัศมีตามเพลาใบจักรได้ และมีท่อส่งน้ำ (Water Inlet Stem) ที่ร้อยผ่าน Retainer Ring ไปยังตัวเรือน และเป็นอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้ตัวเรือนซีลหมุนตามเพลาใบจักร อัตราการรั่วไหลสูงสุดของน้ำที่รั่วผ่านซีลผนังห้อง TR 216 คือ ½ Pint/ ชม.

7.2.2. การใช้งาน (Operation)

ถึงแม้ว่าซีลกันรั่วเพลาใบจักรผนังห้องที่ใช้งานในเรือจะมีหลายรูปแบบ แต่ทั้งหมดมีวิธีการใช้งานเพียง 2 Mode เท่านั้น คือ อัตโนมัติ และ Manual ซึ่งการใช้งานซีลกันรั่วผนังห้องแบบอัตโนมัตินั้น ไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมหรืออุปกรณ์ตรวจสอบแสดงค่า ไม่ต้องมีระบบไฟฟ้าหรือ การกลอื่นใดมาเกี่ยวข้อง และไม่ต้องมีวิธีการเดินหรือการเลิกใดๆ มาประกอบให้ยุ่งยากทั้งสิ้น แต่การใช้งานแบบ Manual ต้องการเพียงแรงกระตุ้นการทำงานจากภายนอกเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ซีล Tyton TR 261 ต้องการกำลังดันน้ำ (40 PSi) และต้องต่อท่อทางน้ำจากระบบน้ำจืดเรือเตรียมไว้สำหรับกระตุ้นการทำงานได้ตลอดเวลา วิธีการปฏิบัติในการใช้งานซีล Tyton TR 261 แบบ Manual คือ ในการเตรียมพร้อมใช้งาน (Stand By Mode) Inflatable Seal ที่ทำหน้าที่ป้องกันรั่วจะต้องไม่สัมผัสกับเพลาใบจักรเพื่อป้องกันไม่ให้ซีลชำรุด และหมดเปลืองน้ำจืด โดยลิ้นที่จ่ายน้ำจืดไปยังซีลผนังห้องต้องอยู่ในตำแหน่งปิดขณะที่ซีลไม่ได้ถูกใช้งาน แต่เมื่อมีเหตุการณ์น้ำท่วมห้อง (น้ำทะเลจากนอกเรือหรือน้ำจากการดับไฟ) หรือขณะอยู่ในสถานการณ์ป้องกันอาวุธเคมี-ชีวะ ซีล (Inflatable Seal) จะถูกกระตุ้นให้ทำงานโดยการเปิดลิ้นน้ำจืดจากลิ้นใดลิ้นหนึ่ง (จำนวน 2 ลิ้น) ในห้องที่อยู่ติดกับผนังตรงข้าม (ขึ้นอยู่กับว่าน้ำท่วมห้องใด) และเมื่อทำการเปิดลิ้นน้ำจืดเรียบร้อยแล้ว จนท.ตรวจให้แน่ใจว่า ลิ้นปรับแต่งกำลังดันน้ำจืดตั้งการทำงานไว้ที่ 40 PSi และมีกำลังดันน้ำถูกต้อง ส่วนการเลิกกระตุ้นให้ซีลทำงานโดยการปิดลิ้นน้ำจืดให้สนิท (Fully Close) เท่านั้น



Tyton TR 261 Manually Activated Bulkhead Seal

7.2.3 การซ่อมบำรุง (Maintenance)

ตัวอย่างการซ่อมบำรุงและระยะเวลาในการปฏิบัติของซีลผนังห้อง ชนิดทำงานอัตโนมัติและ Manual ดังนี้

7.2.3.1 การปฏิบัติการซ่อมบำรุงป้องกันของซีลทำงานอัตโนมัติ เช่น การตรวจสอบอุปกรณ์สำคัญ การทำความสะอาดและการหล่อลื่น (ถ้ามี) ซีลอัตโนมัติบางแบบต้องตรวจสอบและทำความสะอาดทุกปี หรือทุกๆ 5,000 ชม.(ซึ่งอย่างใดถึงก่อน) การเปลี่ยนส่วนประกอบที่ชำรุดก็เป็นผลมาจากชั่วโมงใช้การ และการตรวจสอบประจำปีเป็นหลักเช่นกัน ส่วนซีล Type-ND มีงานการซ่อมบำรุงสำคัญประจำปี คือ การทำความสะอาด การตรวจสอบส่วนประกอบภายนอก และทำการหล่อลื่นเพลาใบจักรบริเวณที่สัมผัสกับไดอะแฟรมและซีล O-Ring

7.2.3.2 การปฏิบัติการซ่อมบำรุงป้องกันของซีลที่มีการทำงานในระบบ Manual (ทุกเดือน) ได้แก่ การตรวจสอบและทดลองการทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าพร้อมใช้และใช้ได้เมื่อต้องการใช้งาน ซึ่งในการปฏิบัติการซ่อมบำรุงซีลผนังกั้นห้องเพลาใบจักรนั้นไม่จำเป็นที่ต้องทำขณะเรือเข้าอู่ ระยะเวลาและวิธีการปฏิบัติให้ตรวจสอบจากคู่มือประจำเรือของแต่ละลำเท่านั้น

ข้อระมัดระวังอันตราย (Caution)

ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีสารหรือน้ำยาประเภทที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน หรือน้ำยากัดสนิม ผงฝุ่น หรือสิ่งสกปรกใดๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดรอยชำรุดขึ้นบนผิวสัมผัสของเพลาใบจักรและลดอายุการใช้งานของซีล เข้าไปภายในตัวเรือนซีลได้ขณะทำการซ่อมบำรุง

7.2.4 การปรับซ่อม (Seal Overhaul)

เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำเพิ่มจากเกณฑ์ที่กำหนด ซีลอาจหมดอายุการใช้งาน สาเหตุเกิดจาก O-Ring ชำรุด การเสื่อมสภาพของ Inflatable Seal หรือแม้กระทั่งการเกิดรอยร้าวและแยกตัวของส่วนประกอบสำคัญอื่นๆ ก็อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการรั่วไหลเพิ่มขึ้นได้ งานที่สำคัญของการปรับซ่อมคือ การถอดประกอบและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุด ผู้ปฏิบัติคือช่างโรงงาน ระยะเวลาการซ่อมทำของซีลผนังห้องทุกๆ 4 ปี รายละเอียดการปฏิบัติตามคู่มือเรือ

7.2.5 การแก้ไขข้อขัดข้อง (Trouble Shooting)

ซีลเพลาใบจักรผนังห้องถูกออกแบบให้มีการทำงานได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งหรือตั้งศูนย์ใดๆ จากเจ้าหน้าที่ทางเรือ ปัญหาข้อขัดข้องที่ตรวจพบมักเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการรั่วไหลที่เกินเกณฑ์ของน้ำหรืออากาศ สภาวะอุณหภูมิสูง และการเกิดเสียงดังผิดปกติขณะใช้งาน ส่วนแนวทางการแก้ไขปัญหาข้อขัดข้องของซีลประเภทใช้งานแบบ Manual เกี่ยวกับสภาวะอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นกับซีล หรือ Inflatable Seal ไม่ทำงาน ให้ตรวจสอบหม้อกรองของระบบท่อทางน้ำจืด (ถ้ามี) ลิ้นและเกจวัดกำลังดัน รวมทั้งตรวจสอบการบล็อคอาจจะมีเกิดขึ้นภายในระบบได้ รายละเอียดในการปฏิบัติตามคู่มือเรือ

ตารางแก้ไขปัญหาข้อขัดข้องของซีลผนังห้อง (Type ND)

อาการ	สาเหตุ	การแก้ไข /ซ่อมทำ
น้ำ หรือ อากาศรั่วไหลเกินเกณฑ์ (Excessive Water or Air Leakage)	ซีล O-rings ขาดการหล่อลื่น	หล่อลื่นด้วย นมล.
	ซีล O-rings ชำรุด	เปลี่ยน ซีล O-rings
	มีน้ำเต็มห้องซีล	เปิดลูกอุด (drain plug) ระบายน้ำทิ้ง
	ตัวเรือนชำรุด	เปลี่ยนตัวเรือน
ขณะใช้งานเกิดเสียงดัง	ซีล O-rings ขาดการหล่อลื่น	หล่อลื่นด้วย นมล.
มีกลิ่นยางไหม้(Rubber Smoking)	ซีล O-rings ไหม้	เปลี่ยน ซีล O-rings

8. ซีลแบบแป๊กกิ้ง (Packing-Type Stuffing Box Bulkhead Seal)

8.1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

เป็นซีลที่ง่ายในการออกแบบ ไม่ต้องการน้ำหรือกลไกใดๆเข้ามาเกี่ยวข้องขณะใช้งาน การซ่อมบำรุงน้อยเพียงคอยดูแลเปลี่ยนแป๊กกิ้งตามระยะเวลาเท่านั้น สำหรับการกระตุ้นใช้งานกระทำโดยกวดฝาอัดกระบอกซีล (Stuffing Box) ให้วงแป๊กกิ้งสัมผัสกับเพลาใบจักร การใช้งานกับเรือเล็กและเป็นซีลที่ใช้งานฉุกเฉินของเรือขนาดกลางหรือขนาดใหญ่บางประเภท

8.2. โครงสร้าง/ส่วนประกอบ (Description)

ซีลแบบแป๊กกิ้งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ กระบอกซีล (Stuffing Box) ภายในกระบอกซีลมีช่อง (Groove) สำหรับประกอบวงแป๊กกิ้ง ซึ่งเมื่อได้ประกอบแป๊กกิ้งเข้าไปในช่องว่างกระบอกซีลรอบเพลาใบจักรเรียบร้อยแล้ว จะทำให้กระบอกซีลและเพลาใบจักรได้ศูนย์กันโดยอัตโนมัติ แป๊กกิ้งที่ถูกอัดไว้ภายในกระบอกซีลทำหน้าที่กำหนดและควบคุมระยะห่างจากเพลาใบจักรขณะใช้งานปกติ แป๊กกิ้งที่ใช้เป็นวัสดุประเภทเทฟลอน (Teflon) หรือเอสเบททอส (Asbestosis)

8.3. การใช้งาน (Operation)

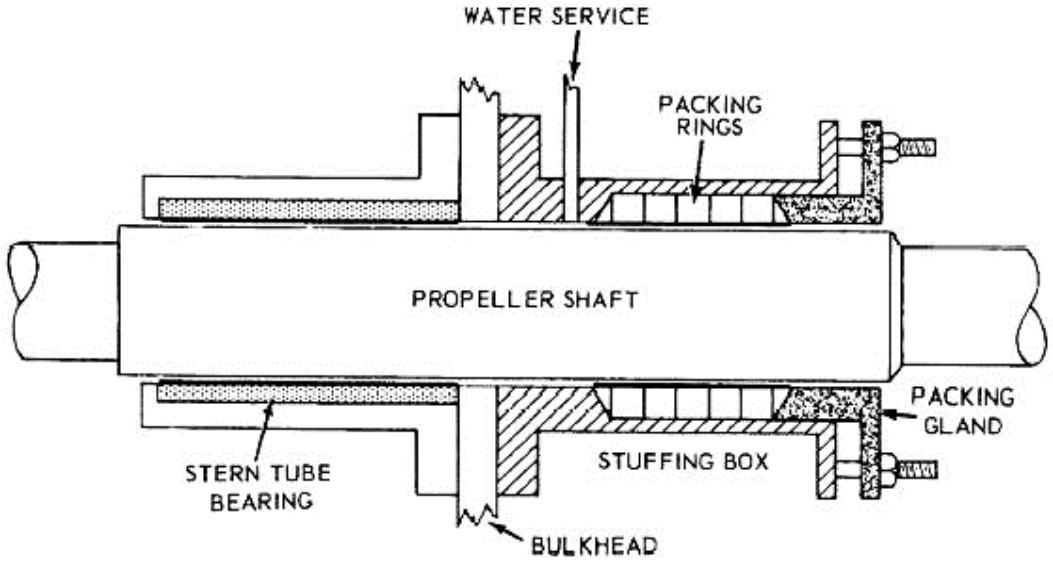
การใช้งานซีลเพลาใบจักรแบบแป๊กกิ้งด้วยการกวดหรือคลายนัตฝาอัดกระบอกซีล เพื่อป้องกันหรือควบคุมน้ำเข้าเรือทั้งขณะเรือจอดและเรือเดิน

8.4. การแก้ไขข้อขัดข้อง (Trouble Shooting)

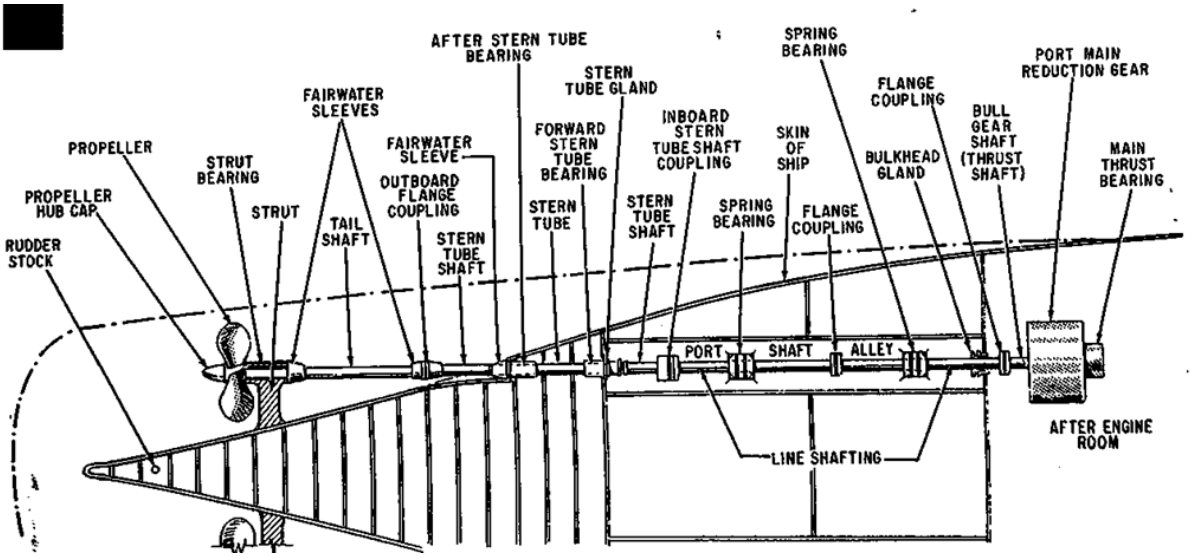
ปัญหาข้อขัดข้องของซีลเพลาใบจักรมักเกิดขึ้นเมื่อระยะห่าง (Clearance) ระหว่างเพลาใบจักรและแป๊กกิ้งมากหรือน้อยเกินไป ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับอัตราน้ำเข้าเรือ หรือเพลาใบจักรร้อนขณะเรือเดิน ดังนั้นควรมีการตรวจสอบตามระยะเวลา และปฏิบัติตามคู่มือการใช้ภายในเรือ

8.5. ข้อระมัดระวังอันตราย (Warning)

ห้ามอัดจาระบีแป๊กกิ้งเพลาใบจักรผนังห้องขณะใช้งานปกติ ให้อัดเมื่อมีเหตุการณ์น้ำท่วมห้องเพื่อช่วยลดการรั่วไหลให้น้อยลงเท่านั้น การอัดจาระบีอาจเป็นสาเหตุทำให้แป๊กกิ้งและ Lantern Ring ที่เป็นซีลอยู่รอบๆ เพลาใบจักรเกิดการยืดตัวและเป็นสาเหตุทำให้ซีลมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเพลาใบจักรหมุน



ซีลเพลาใบจักแบบแป๊กกิ้ง (Packing-Type Stuffing Box)



ภาพแสดงส่วนประกอบของระบบเพลาใบจักร

บทที่ 11
ระบบใบจักร
1. กล่าวโดยทั่วไป (General)

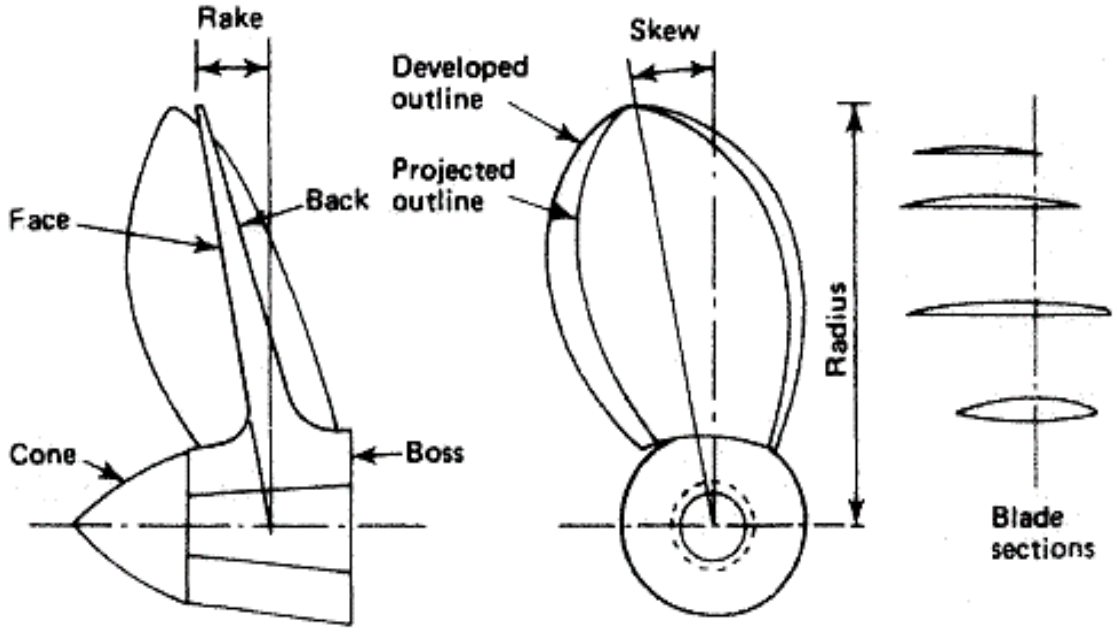
ใบจักรแบบสกรู (Screw–Type Propeller) ประกอบด้วย ดุม (Hub) และใบจักร (Blade) วางทำมุมกับแกนเพลาจักรด้วยระยะที่เท่ากัน ใบจักรชนิดที่ดุมและใบจักรหล่อเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน เรียกว่า Solid Propeller และใบจักรชนิดที่ดุมและใบจักรประกอบติดกันด้วยสลัก เรียกใบจักรชนิดนี้ว่า Built – Up Propeller

ส่วนประกอบของใบจักรแบบสกรู (บางส่วน) ด้านหน้าหรือด้านกำลังดัน (Face หรือ Pressure Face) คือด้านที่อยู่ด้านหลังของใบจักร (After Side) เมื่อเรือเคลื่อนที่ในทิศทางเดินหน้า ด้านหลังหรือด้านทางดูด (Back หรือ Suction back) คือด้านที่อยู่ตรงข้ามด้านหน้า เมื่อใบจักรหมุน ด้านหน้าของใบจักรจะเพิ่มกำลังน้ำและทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเรือถอยหลัง (ท้ายเรือ) แรงดันกลับที่กระทำกับใบจักรให้เรือเคลื่อนที่ในทิศทางเดินหน้า (Thrust หรือ Reaction Force) เกิดจากความเร็วของน้ำที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางถอยหลัง

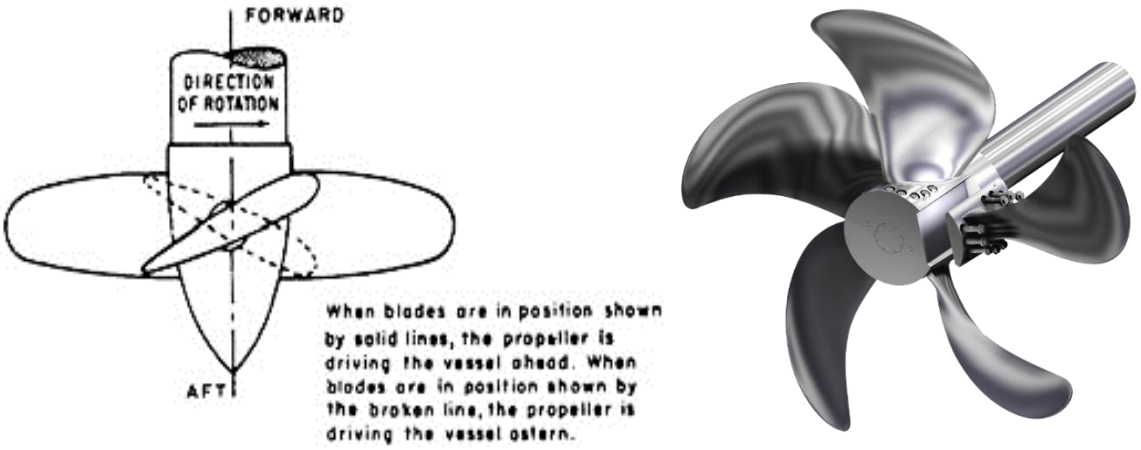
- ปลายใบจักร (Tip of The Blade) คือส่วนที่อยู่ไกลสุดจากดุมใบจักร
- โคนใบจักร (Root of The Blade) คือบริเวณพื้นที่เชื่อมต่อใบจักรกับดุมใบจักร
- ขอบนำ (Leading Edge) คือขอบใบจักรด้านที่ตัดน้ำ (First Cut) เมื่อเรือเคลื่อนที่ในทิศทางเดินหน้า
- ขอบตาม (Trailing Edge หรือ Following Edge) คือขอบใบจักรด้านตรงข้ามกับขอบนำ

มุมเอียง (Rake Angle) เกิดขึ้นเมื่อปลายใบจักรไม่ได้อยู่ในแนวตั้งฉากกับดุมใบจักร มุมเอียงเป็นมุมที่เกิดจากระยะระหว่างตำแหน่งจริงของปลายปีก (ที่อาจอยู่ค่อนไปทางด้านหน้าหรือด้านหลังดุมใบจักร) และตำแหน่งของปลายปีกที่ควรจะเป็น ถ้ามันอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับดุมใบจักร

ใบจักรแบบสกรู แบ่งประเภทออกเป็นใบจักรแบบพิทช์คงที่ (Fixed Pitch) และใบจักรแบบปรับพิทช์ได้ (Controllable Pitch) โดยใบจักรแบบพิทช์คงที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงมุมบิดของใบจักรได้ในขณะใช้งาน ส่วนใบจักรแบบปรับพิทช์นั้น ได้สามารถเปลี่ยนมุมบิดของใบจักรได้ตลอดเวลาด้วยอุปกรณ์บนสะพานเดินเรือหรือจากห้องควบคุมเครื่องจักร และใบจักรแบบปรับพิทช์ได้ยังสามารถใช้งานในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือจากเดินหน้าเป็นถอยหลังโดยไม่ต้องเปลี่ยนทิศทางในการหมุนของอุปกรณ์ส่งกำลังได้อีกด้วย



A Solid Fixed-Pitch Propeller



Built – Up Propeller และการทำงานของใบจักรแบบปรับพิทช์ได้

หมายเหตุ

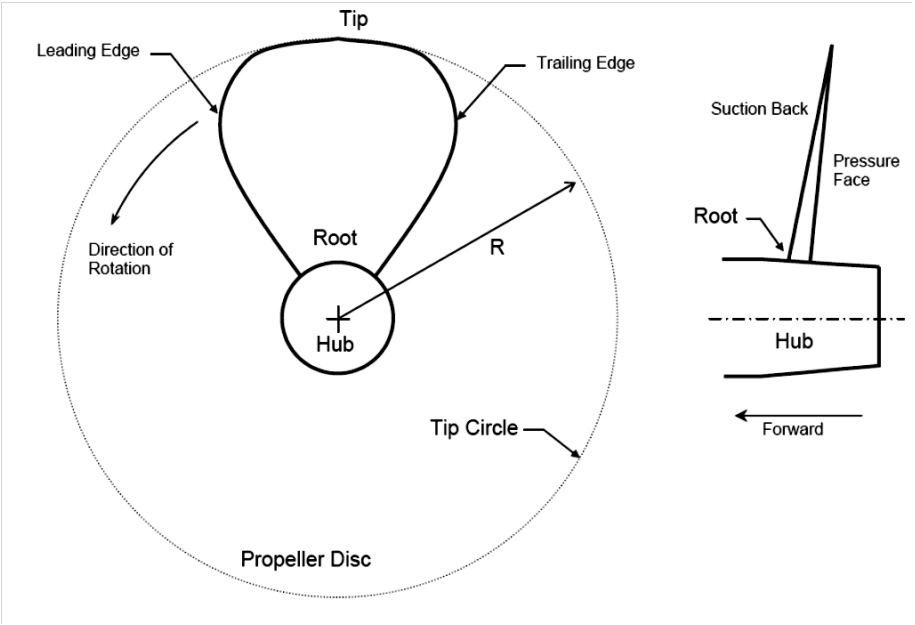
ตำแหน่งปีกใบจักเส้นทึบ ผลักน้ำให้เรือไปในทิศทางเดินหน้า ตำแหน่งปีกใบจักเส้นทึบเส้นประ ผลักน้ำให้เรือไปในทิศทางเดินถอยหลังเพลาใบจักรหมุนทางเดียว

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับใบจักร

ระบบเพลาใบจักรและใบจักรเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังงานที่ออกจากเครื่องยนต์ไปผลักน้ำเพื่อขับเคลื่อนตัวเรือ การเลือกใบจักรที่ถูกต้องจะทำให้เครื่องยนต์ของเราทำงานได้เต็มสมรรถนะ และ ควบคุมรอบของเครื่องยนต์ให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามแรงม้าของเครื่องยนต์ ในเรื่องทฤษฎีเกี่ยวกับใบจักรนี้ค่อนข้างซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อมูลและทฤษฎีพื้นฐานของใบจักรที่ควรรู้ดังนี้

2.1. ส่วนประกอบเพลาใบจักร

- Propeller Radius ระยะทางตั้งแต่แกนใบจักรจนถึง ปลายปีกใบจักร
- Hub ดุมใบจักรเป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างปีกใบจักรกับเพลา
- Blade Tip ส่วนปลายสุดของปีกใบจักร
- Blade Root ส่วนที่ปีกใบจักรเชื่อมอยู่กับดุมใบจักร
- Tip Circle วงของใบจักรที่ลากจากส่วนปลายสุดของปีกใบจักรจนครบรอบ
- Propeller Disc พื้นที่ภายในวงของ tip circle
- Leading Edge ส่วนแรกของปีกใบจักรที่ปะทะกับน้ำเมื่อใบจักรเคลื่อนที่
-Trialing Edge ส่วนของปีกใบจักรส่วนสุดท้ายที่ปะทะกับน้ำเมื่อใบจักรเคลื่อนที่
- Pressure Face ด้านกำลังสูงของปีกใบจักรอยู่บริเวณด้านหลังของปีกใบจักรเมื่อเรือเคลื่อนที่
- Suction Back ด้านกำลังต่ำของใบจักร ซึ่งความแตกต่างของกำลังดันที่เกิดกับปีกใบจักรส่วนใหญ่นั้นเกิดที่ด้านกำลังดันต่ำนี้
- Left Handed Screw ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองมาจากทางท้ายเรือ เรือเพลาเดียวส่วนใหญ่มักนิยมใช้ใบจักรลักษณะการหมุนแบบนี้
- Right Handed Screw ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกาเรือที่มีสองเพลาข้างหนึ่งจะหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาส่วนอีกข้างหนึ่งจะหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา



Basic Propeller Geometry; Left Hand Propeller Viewed From Astern

2.2. ขนาดของใบจักร

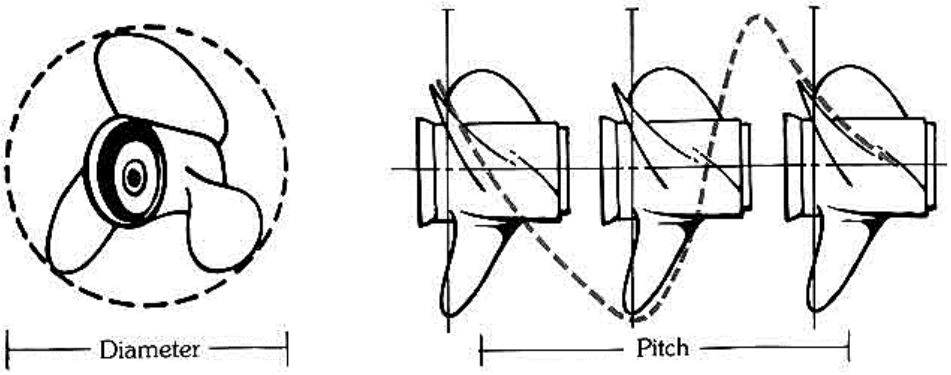
ขนาดของใบจักรโดยทั่วไปจะกล่าวถึง Diameter และ Pitch ของใบจักร สมมติให้ใบจักรหมุนด้วยอัตรามุมคงที่ และเรือแล่นด้วยความเร็วคงที่ ขณะที่ใบจักรหมุนเคลื่อนที่ผ่านน้ำ เมื่อปีกใบจักรหมุนครบ 360 องศาหรือครบหนึ่งรอบเพลา ใบจักรจะทำระยะการเคลื่อนตัวที่หนึ่งช่วงเกลียว

Diameter คือ ความยาวระหว่างแกนกลางของใบจักรไปถึงปลายของใบจักร x ด้วย 2 หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางของใบจักรนั่นเอง ขนาดของ Diameter ที่จะต้องใช้นั้นขึ้นอยู่กับขนาด และ ประเภทของเครื่องยนต์ ถ้าเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก จะต้องใช้ใบจักรที่มี Diameter ที่เล็ก ถ้าเป็นเครื่องยนต์ที่ใหญ่ก็จะต้องใช้ Diameter ที่ใหญ่ตามขึ้นมาเช่นกัน

Pitch คือ ระยะของการเคลื่นที่ไปข้างหน้าต่อการหมุน 1 รอบของเครื่องยนต์

ใบจักรที่มีพิทช์ต่ำ หรือ วงน้ำที่สั้น จะทำให้เรือมีอัตราเร่งที่ดี มีแรงดันที่ดีออกตัวได้ไว ซึ่งจะทำให้เรือขึ้นน้ำได้เร็ว มีความเร็วช่วงต้นที่ดี ส่วนใบจักรที่มีพิทช์สูงขึ้นอาจจะทำให้เรือออกตัวได้ช้าลงแต่จะทำความเร็วช่วงปลายได้ดีกว่าใบจักรที่มีพิทช์ที่ต่ำกว่า

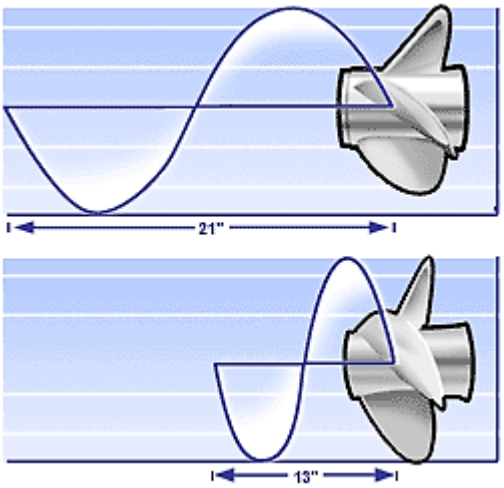
บางครั้งต้องการความเร็วสูง เลยเลือกพิทช์ที่สูง การเลือกพิทที่สูงนั้นจะทำให้ได้ความเร็วสูงสุดมากกว่าพิทช์ที่ต่ำก็จริง แต่ถ้าพิทช์ใช้เกินกว่าที่เครื่องยนต์ของเราจะรับไหว ก็อาจจะทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้ด้วยเช่นกัน ดังนั่นก่อนที่จะเลือกพิทช์ของใบจักร ควรจะต้องดูด้วยว่า เครื่องยนต์สามารถที่รองรับพิทช์ที่สูงสุดได้เท่าไหร่ซึ่งจะระบุมาในคู่มือของเครื่องอยู่แล้ว



Propeller Diameter andr Pitch

2.2.1. มุมพิทช์ใบจักร (Degree)

มุมพิทช์ใบจักรคือ มุมที่ปีกใบจักรบิดไปจากเส้นตั้งฉากของการเคลื่อนที่จนถึงแนวการไหลของน้ำ และเพราะว่าปีกใบจักรมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นเกลียว จึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระยะพิทช์ใบจักรกับมุมพิทช์ใบจักรเป็นสมการได้ดังนี้



Propeller Pitch

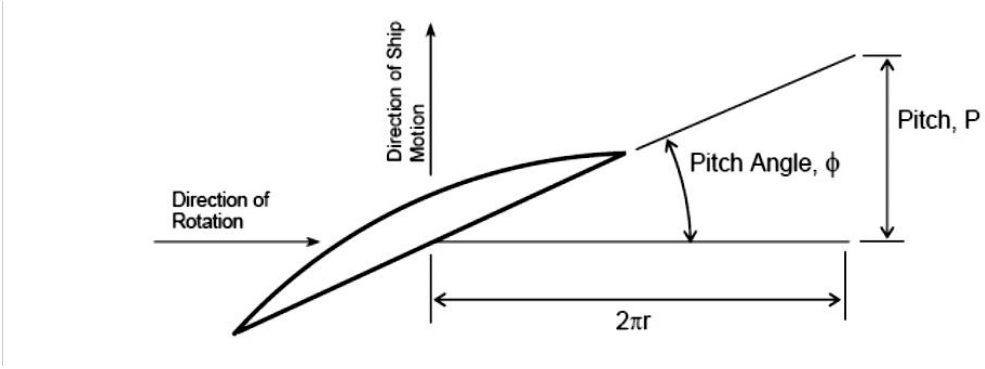
$$\tan\phi = \frac{P}{2\pi r}$$

P = ระยะพิทช์ใบจักร (ft)

ϕ = มุมพิทช์(degree)

r = ระยะรัศมีที่จุดอ้างอิงของปีกใบจักร จากเส้นแกนเพลาใบจักร

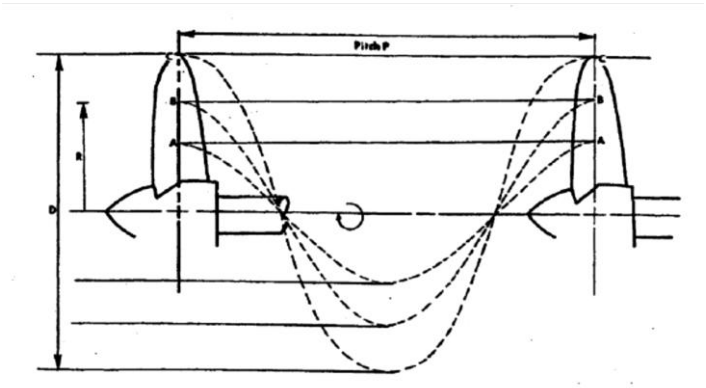
ความสัมพันธ์ของสมการแสดงได้ดังนี้



Relationship between Propeller Pitch and Pitch Angle

2.2.2. Constant Pitch Propeller

คือ ระยะพิทช์ใบจักรคงที่ตลอดการหมุนปีกใบจักรที่จุดเริ่มต้นจนถึงปลายสุด แต่ละจุดบนปีกใบจักรที่หมุนเคลื่อนที่ไปเหมือนกับระยะเส้นสมมติในการหมุนของใบจักร เมื่อมองดูที่ระยะพิทช์คงที่จะสังเกตเห็นว่ามุมของปีกใบจักรเปลี่ยนจากจุดเริ่มต้นจนจุดปลายสุด นี่คือสาเหตุที่ระยะพิทช์คงที่ ซึ่งระยะพิทช์ใบจักรคงที่โดยทั่วไปไม่นิยมใช้กันเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพ



Constant Pitch Propeller Operating Through One Revolution

2.2.3. Variable Pitch Propeller

คือ ระยะพิทช์ที่ปรับค่าได้ในแต่ละระยะรัศมีจากจุดเริ่มปีกใบจักรถึงปลายปีกใบจักร รวมถึงระยะพิทช์ที่อาจจะข้ามจากผิวหน้าปีกใบจักรจากด้านขอบนำ (Leader Edge) จนถึงเส้นแนวขอบที่ระยะรัศมีจากมุมใบจักร ค่าของพิทช์สำหรับระยะพิทช์ที่ปรับค่าได้ใช้ไป 70% ของรัศมีปีกใบจักร ระยะพิทช์ใบจักรที่ปรับค่าได้มีความได้เปรียบอย่างชัดเจนมากกว่าระยะพิทช์คงที่ ระยะพิทช์ที่ปรับค่าได้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดี และเกิดฟองอากาศ (Cavitation) น้อย ปัจจุบันใบจักรที่ใช้เป็นแบบระยะพิทช์ที่ปรับค่าได้ เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพใบจักรได้ก็จะเพิ่มประสิทธิภาพในระบบขับเคลื่อนด้วย เป็นผลจากการทำให้ใช้กำลังเพลาน้อยลงในการขับเคลื่อนของเรือ

2.2.4. Fix Pitch Propeller

คือ ใบจักรที่ปรับค่าพิทช์ไม่ได้ เป็นใบจักรที่ปีกใบจักรอยู่กับที่โดยสัมพันธ์กับดุมใบจักรและไม่สามารถเปลี่ยนได้ขณะที่เพลากำลังหมุน พิทช์ใบจักรปรับค่าไม่ได้อาจจะมีรูปร่างปีกใบจักรที่มีระยะพิทช์คงที่หรือไม่คงที่ ใบจักรจำนวนมากที่เกี่ยวกับเครื่องยนต์ติดท้ายเรือ หรือสกรูขนาดใหญ่ของ Aircraft Carrier เป็นแบบพิทช์ใบจักรที่ปรับค่าไม่ได้

2.2.5. Controllable Pitch Propeller

การออกแบบใบจักรชนิดนี้เป็นการออกแบบให้ปีกใบจักรสัมพันธ์กับดุมใบจักรโดยเปลี่ยนค่าในขณะที่เพลากำลังหมุนได้ ระบบนี้ทำได้สำเร็จโดยการใช้ระบบไฮดรอลิกส์ในการเปลี่ยนมุมพิทช์ของปีกใบจักร โดยใบจักรทั้งหมดถูกจัดหมวดหมู่ในระบบพิทช์ใบจักรที่ปรับค่าได้ ปีกใบจักรที่ให้ระยะพิทช์ที่ไม่แน่นอน/เปลี่ยนแปลง สามารถควบคุมปรับค่าพิทช์ใบจักรได้ ระบบพิทช์ใบจักรที่ปรับค่าได้สามารถปรับปรุงความสามารถในการควบคุมเรือได้ วัตถุประสงค์ที่ต้องการ คือ เดินระบบขับเคลื่อนกลับทางได้ เพราะมุมพิทช์สามารถเปลี่ยนค่าได้ โดยปีกใบจักรหมุนแบบมีแรงผลักกลับโดยไม่ต้องเปลี่ยนทิศทางการหมุนเพลา ใบจักรชนิดนี้มีใช้ในชั้นของเรือ ดังนี้ เรือฟรีเกต เช่น ชุดเรือเจ้าพระยา เรือบรรทุกเฮลิคอปเตอร์ เช่น ร.ล.จักรีนฤเบศร , FFG 7 (Oliver H. Perry class) , DD 963 (Spruance class) , DDG 51(Arleigh Burke class) , และ LSD 51

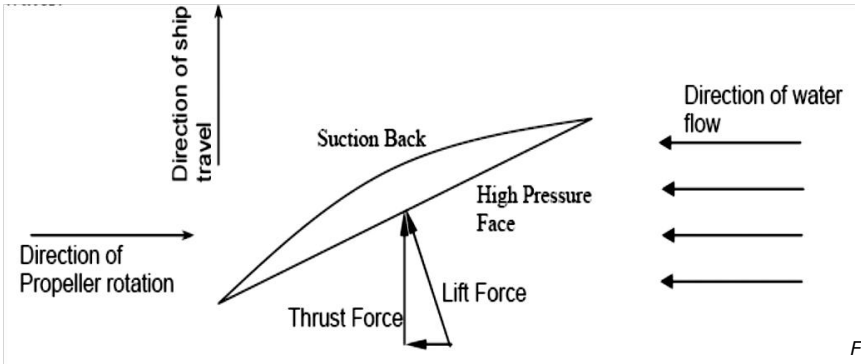
2.3. How a Propeller Blade Works

ปีกใบจักรทำงานเหมือนปีกของเครื่องบิน น้ำไหลผ่านปีกใบจักรทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันทางด้านหน้าและด้านหลังของใบจักร จึงทำให้เกิดแรงผลักให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เมื่อมองจากภาพตัดขวางจะเห็นปีกใบจักรมีรูปร่างเหมือนปีกเครื่องบิน (Airfoil) ความเร็วของกระแสน้ำที่แรงดูดด้านหลังปีกใบจักรดีกว่าความเร็วที่แรงดันสูงหน้าปีกใบจักร

หมายเหตุ

สมการแบร์นูลลี : การใช้หลักการของการอนุรักษ์มวลวิเคราะห์การไหลของของไหลในท่อที่ทำให้เราเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและพื้นที่หน้าตัด และได้ความสัมพันธ์ที่เรียกว่าสมการต่อเนื่อง ซึ่งมีความหมายว่าการถ่ายโอนพลังงานคิดได้จากงาน (w) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของของไหลที่ไหลในท่อ

ความเร็วที่ต่างกันที่ปีกใบจักรนี้เป็นผลของแรงดันที่ต่างกันที่ปีกใบจักร ผลที่ตามมา คือ เกิดแรงยก ซึ่งสามารถแก้ปัญหาเวกเตอร์แรงผลักและแรงต้านซึ่งเป็นเวกเตอร์แรงผลักที่ผลักเรือผ่านกระแสน้ำ



Force Acting on A Propeller Blade

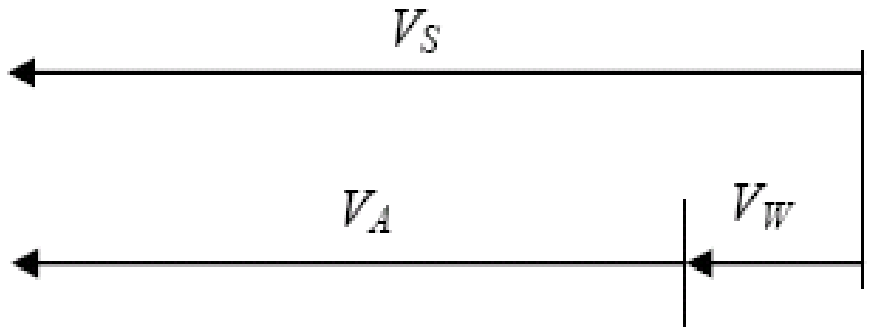
2.4. ทฤษฎีโมเมนตัมที่กระทำต่อใบจักร (Momentum Theory of Propeller Action)

มีทฤษฎีมากมายทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ที่เคยอธิบายถึงการทำงานของใบ-จักร รวมถึงทฤษฎีโมเมนตัม ,ทฤษฎี impulse ,ทฤษฎีปีกใบจักรขั้นพื้นฐานและทฤษฎีการไหลเวียน แต่ละทฤษฎีถูกใช้ในการสร้างเรือ, ออกแบบใบจักร และวิเคราะห์การปฏิบัติ ซึ่งทฤษฎีโมเมนตัมถูกนำมาใช้ในการออกแบบและอธิบายมากที่สุด เพราะสามารถให้ความเข้าใจสำคัญในการทำงานของใบจักรโดยไม่ต้องใช้การคำนวณขั้นสูง

2.4.1. Speed of Advance (V_A)

การที่จะใช้ทฤษฎีโมเมนตัมอธิบายหรือกล่าวถึงเรื่องใบจักร จำเป็นที่จะต้องเข้าใจแนวคิดของ speed of advance (V_A) ของใบจักร ขณะที่เรือเคลื่อนที่ผ่านกระแสน้ำที่มีความเร็วค่าหนึ่ง (V_S) ทำให้เกิดแรงต้านซึ่งคือความหนืดที่ต้านด้านท้ายเรือ สาเหตุนี้ทำให้รู้เกี่ยวกับความเร็วของน้ำเมื่อเรือแล่นผ่าน (V_W) ดังนั้น เมื่อความเร็วของไหลน้อยกว่าความเร็วของเรือ ความเร็วของไหลที่ผ่านใบจักรนั้นเรียกว่า the speed of advance (V_A) ดังรูปที่ 7.20

Speed of Advance (V_A) = V_S - V_W



Speed of Advance

2.4.2. ทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum Theory)

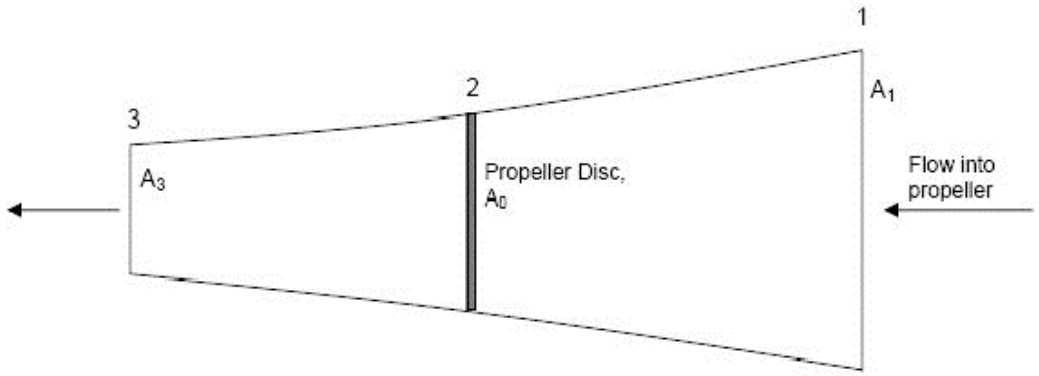
ทฤษฎีโมเมนตัม อธิบายถึง การกระทำของใบจักรในอุดมคติ ในทฤษฎีนี้ คุณสมบัติของใบจักร (พิทช์ , จำนวนปีกใบจักร , รอบเพลา/นาที) นั้นไม่ได้นำมาพิจารณา โดยสมมติให้ใบจักรเป็นพื้นที่จานกลม (A_O) ใบจักรทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นทันที เมื่อของไหลไหลผ่านจานกลมนั้น และเป็นการเพิ่มความเร็วของของไหล แต่สมมติฐานนี้ได้ถูกยกเลิกไป

ทฤษฎีโมเมนตัมเกี่ยวกับการทำงานของใบจักรและการไหลของของไหลผ่านใบจักรมีเงื่อนไขดังนี้

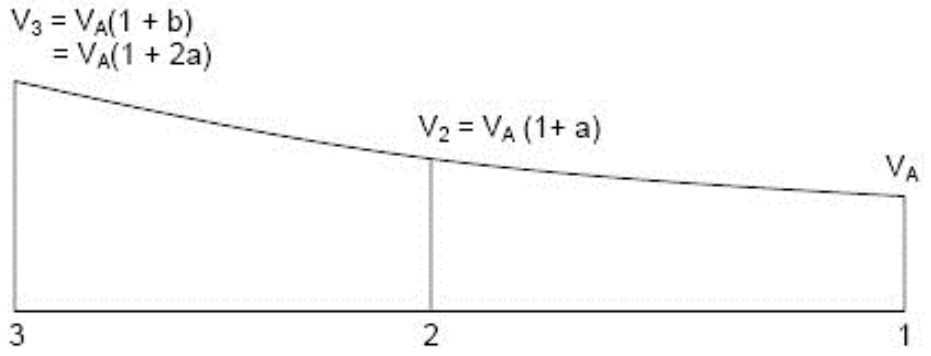
1. ใบจักรส่งอัตราเร่งสม่ำเสมอให้น้ำไหลผ่าน และทำให้เกิดแรงผลักที่ใบจักรกระจายอย่างสม่ำเสมอ
2. ไม่มีแรงเสียดทานในการไหลของน้ำ
3. มีน้ำไหลผ่านใบจักรตลอดเวลา

สังเกตที่ใบจักรและปริมาตรควบคุมของน้ำรอบใบจักร ปริมาตรควบคุมนี้แผ่ออกไปถึงจุดที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ก่อนเข้าใบจักร และจุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่หลังใบจักร ดังภาพ จุดที่ 2 แทนพื้นที่ของวงใบจักร (A_O) โดยสมมุติให้ใบจักรทำให้เกิดรูปแบบการไหลของน้ำ จากภาพ เป็นภาพพื้นที่ภาคตัดขวางของปริมาตรควบคุมในช่วง จากจุดที่

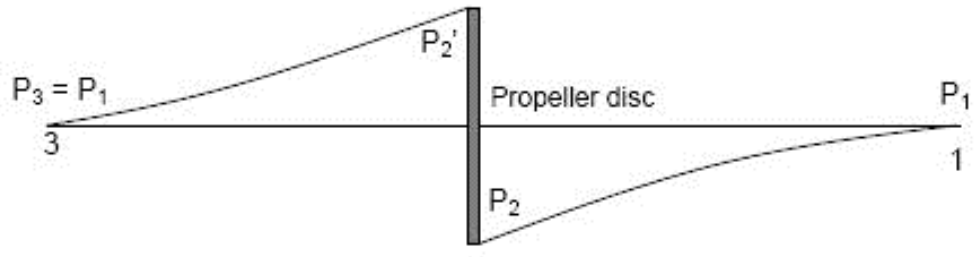
- พื้นที่ภาคตัดขวางของการไหลในช่วงที่ผ่านใบจักร ถึงจุดที่ 1



- ความเร็วของการไหลเพิ่มขึ้นจากความเร็วอ้างอิง (V_A) ที่จุดที่ 1 เป็นความเร็ว V_3 ตามพื้นที่ภาคตัดขวางของการไหลจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 3 ให้ a และ b คือเทอมของแฟคเตอร์การไหลตามแนวแกน



- ความดันในช่วงความเร็วของการไหล จะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านใบจักร สังเกตได้ว่าใบจักรเป็นตัวที่ทำให้ความดันด้านหน้า (P_2) และด้านหลังเพิ่มขึ้น (P_2) ในช่วงระยะห่างจากด้านหน้าและด้านหลังใบจักรในช่วงหนึ่งๆ ความดันจะเท่ากัน



2.4.3. แรงผลักของใบจักร

ทฤษฎีโมเมนตัมกล่าวว่า ใบจักรจะสร้างแรงผลัก (Thrust) ที่เท่ากันในทุกๆ การเปลี่ยนโมเมนตัมของของเหลวต่อหนึ่งหน่วยเวลา ตามปริมาตรควบคุมจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 3 ดังนั้นแรงผลักจึงเป็นฟังก์ชันของอัตราการไหลของน้ำผ่านใบจักรและการเปลี่ยนความเร็วของของเหลวผ่านใบจักร ซึ่งแรงผลักอาจเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มอัตราการไหลผ่านวงใบจักร หรือความต่างความเร็วที่เพิ่มขึ้นระหว่างจุดที่ 1และ 3

ดังนั้น ความสัมพันธ์ส่วนหนึ่งของความเร็วของไหลที่เพิ่มขึ้น คือ ของไหลก่อนที่จะแผ่มายังวงใบจักรในทางกลับกันความดันในส่วนหลังใบจักรมีส่วนให้ความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น

2.4.4. ลักษณะของใบจักร

ตามหลักทฤษฎีโมเมนตัมกล่าวว่า

$$\eta_I = \frac{2}{1+\sqrt{1+C_T}} \qquad \text{where} \qquad C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A_0 V_A^2}$$

หมายเหตุ

η_T คือ ประสิทธิภาพใบจักในอุดมคติ (Ideal Propeller Efficiency)

C_T คือ สัมประสิทธิ์ภาระแรงผลัก (Thrust Load Coefficient)

จากความสัมพันธ์นี้ ทำให้รู้ถึงแฟคเตอร์ที่มีผลต่อคุณลักษณะของใบจักร เช่น ถ้าพิจารณาแรงผลัก (T) และความเร็ว (VA) สัมประสิทธิ์ภาระแรงผลักจะลดลง เมื่อพื้นที่วงใบจักรเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพใบจักรอุดมคติเพิ่มขึ้น

ดังนั้น แรงผลักและความเร็วของไหลที่ผ่านใบจักรเปลี่ยนแปลงตามความเร็วเรือ ถือว่าเป็นหนึ่งในแฟคเตอร์หลักของการออกแบบใบจักร ใบจักรขนาดใหญ่จะลดภาระแรงผลักและเพิ่มประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มสัมประสิทธิ์ของการขับเคลื่อน และลดแรงม้าเพลาที่ต้องการตามความเร็วเรือในน้ำ แรงม้าที่ลดลง ทำให้ขนาด (ราคา) เครื่องจักรขับเคลื่อนลดลงแลประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เรือสินค้าก็จะออกแบบโครงสร้างที่ใช้กับใบจักรใหญ่ๆใบเดียว เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพใบจักรที่เพิ่มขึ้นตามต้องการ ส่วนเรือรบมีโครงสร้างที่บังคับและต้องการการเร่งที่เร็วมากจึงต้องใช้ใบจักรที่เล็กกว่า แต่ไม่ได้แสดงว่าใบจักรเรือรบจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าใบจักรเรือสินค้า เพราะเรือรบมีหลายกฎเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใบจักร

จะเกิดอะไรขึ้นและประสิทธิภาพจะเป็นอย่างไรเมื่อ Speed of Advance (V_A) เป็นศูนย์ (เรือไม่เคลื่อนที) จากสมการที่ผ่านมา บอกว่าเมื่อเรือมีความเร็วเป็นศูนย์ จะทำให้ภาระแรงผลักมีค่าไม่จำกัดและประสิทธิภาพใบจักรเป็นศูนย์ ความจริงแล้วทันทีที่เพลาใบจักรเริ่มหมุน ใบจักรจะเริ่มเร่งของไหลผ่านจนเป็นแรงผลัก เรือโยงจึงสามารถทำงานที่ความเร็วต่ำๆและสร้างแรงผลักได้สูงมาก เรือทักมีใบจักรใหญ่มากๆซึ่งออกแบบให้น้ำไหลผ่านที่ความเร็วต่ำแต่สร้างแรงผลักได้สูง สภาวะที่ไม่มีความเร็วของเรือทัก เรียกว่า สภาวะ “Bollard Pull” และมี “Bollard Pull Rating” หลายตันมาก bollard pull คือแรงของเรือเมื่อไม่มีความเร็ว เรือจึงใส่เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์และ CPP (ที่ถูกค้นพบ) ซึ่งเรือจะไม่สร้างแรงผลักเมื่อไม่มีความเร็ว เมื่อเดินเครื่องยนต์ พิทช์ใบจักรจะไม่สร้างแรงผลัก เพราะเพลาใบจักรเริ่มหมุนเมื่อเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์เริ่มทำงาน ในบางครั้งที่เมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงานแต่ตำแหน่งพิทช์ใบจักรไม่ได้อยู่ตำแหน่งศูนย์ซึ่งจะทำให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

2.5. พิทช์ใบจักรและจำนวนใบจักรส่งผลต่อประสิทธิภาพของเรืออย่างไร

ในทฤษฎีโมเมนตัมนั้นไม่ได้มีการกล่าวถึงจำนวนใบจักร หรือพิทช์ใบจักรมากนัก โดยส่วนใหญ่จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเมื่อกระแสน้ำไหลผ่านใบจักร สมการด้านล่างคือสมการที่ใช้ในการออกแบบใบจักรโดยเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ของแรงขับเคลื่อน

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

เมื่อ K_T = สัมประสิทธิ์แรงขับ (Thrust Coefficient)
T = Thrust
P = ความหนาแน่นของน้ำ
n = ความเร็วรอบใบจักร
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบจักร

จำนวนใบจักรของพวงใบจักรไม่ได้ส่งผลต่อสมรรถนะของเรือแต่อย่างใด ขนาดของใบจักรเท่านั้นที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเรือ จากสมการจะเห็นได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับจำนวนใบของพวงใบจักร อย่างไรก็ตามจำนวนใบจักรที่มีพื้นที่มากกว่าจะส่งผลให้เกิดความแข็งแรงมากกว่า การออกแบบจำนวนและขนาดของใบจักรจึงต้องคำนึงถึงความต้องการในการใช้งานของเรือเป็นหลัก

หมายเหตุ

การเลือกใช้ใบจักรที่มีจำนวนต่างไปจากปกติ (ปกติมี3หรือ4ใบ/1เพลา) จึงจำเป็นต้องตรวจสอบเส้นรอบวง (Diameter) และพิทช์ (Pitch) ของใบจักรเพราะจำนวนใบที่ต่างออกไปอาจมีผลต่อรอบเครื่องและอาจเกิดความผิดปกติต่อเครื่องจักรใหญ่ได้ซึ่งจำนวนใบจักร ชนิดของใบจักร มีตำแหน่งการหมุนดังนี้

- เรือจักรเดี่ยว ปีกปรับมุมบิดไม่ได้ ใบจักรหมุนขวาขณะทำให้เรือเดินหน้าและตรงข้ามขณะทำให้เรือถอยหลั
- เรือใบจักรคู่ เรือรบโดยทั่วไปใช้ใบจักรคู่ ถ้าเป็นใบจักรแบบปรับมุมบิดไม่ได้ ใบจักรจะหมุนออกในทิศทางตรงข้าม ถ้าเป็นใบจักรแบบปรับมุมบิดได้ ใบจักรจะหมุนเข้า ในทิศทางตรงข้ามกัน
- เรือ 3 ใบจักร ด้านข้าง ๆ ละ 1 ใบ และตรงแนวกระดูกงู 1 ใบ ใบจักรด้านนอกหมุนออก ส่วนใบกลางหมุนทางซ้าย เรือความเร็วสูงทิศทางหมุนของใบจักรจะเป็นทางเดียวทั้ง 3 ใบ เพื่อป้องกันการเดินไม่เรียบของเครื่องจักร
- เรือ 4 ใบจักร ติดตั้งข้างละ 2 ใบจักร ใบจักรข้างเดียวกันจะหมุนทางเดียวกันและตรงข้ามกับอีกข้างหนึ่ง มีระบบสั่งจักรแยกแต่ละใบจักร

3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำใบจักร

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำใบจักร ใบจักรที่เราเห็นกันทั่วๆ ไปจะมีอยู่หลายประเภท ได้แก่

3.1. Composite

ใบประเภทนี้จะเป็นใบที่มีราคาถูกกว่าประเภทอื่นๆ และ เป็นใบจักรที่ให้สมรรถนะที่ดี แต่ข้อเสียของใบจักรประเภทนี้ก็คือไม่สามารถที่จะซ่อมแซมได้ถ้าเกิดความเสียหาย แต่ในข้อด้อยก็มีข้อดีก็คือ ใบจักรประเภทนี้จะสามารถจะช่วยรักษาท่อนหางของเครื่องยนต์ หรือ Lower Unit ของเครื่องยนต์เราไม่ให้พังได้ในกรณีที่หางเครื่องของเราไปกระแทกกับหิน หรือ สวะใต้น้ำ เพราะใบจะแตกออก และ ไม่มีแรงฝืนย้อนกลับไปที่เครื่องยนต์

3.2. Aluminum

ใบจักรที่ทำด้วย Aluminum ใบประเภทนี้เป็นใบที่มีความนิยมสูงที่สุด มีราคาที่ไม่แพง สามารถที่จะซ่อมแซมได้ และ มีการทำกันออกมาหลายรุ่นหลายแบบหลายสไตล์ และที่สำคัญสามารถที่จะใช้ได้กับเครื่องยนต์เกือบทุกประเภท ใบจักรประเภทนี้จึงเป็นใบจักรที่ได้รับความนิยมมากกว่าประเภทอื่นๆ

3.3. Stainless Steel

ใบจักรที่เป็น Stainless Steel นั้นเป็นใบจักรที่มีสมรรถนะดีที่สุด และ ทนทานที่สุดแต่ก็มีราคาสูงที่สุดเช่นกัน จึงไม่เป็นที่นิยมสำหรับเรือทั่วๆไป

3.4.ทองเหลือง

ใบจักรที่ทำจาก ทองเหลือง ใบประเภทนี้มีความทนทานสูง ทนต่อน้ำทะเลได้มากกว่าประเภทอื่น แต่มีราคาสูง และง่ายต่อการถูกนำทองเหลืองไปใช้อย่างอื่นได้มาก

3.5. เหล็ก

ใบจักรที่ทำจาก เหล็ก ใบประเภทนี้นิยมใช้ในเรือดูดทราย เนื่องจากมีความทนทาน น้ำหนักมาก แต่ราคาสูง

4. พลศาสตร์ของน้ำโดยใบจักร (Hydrodynamics of the Propeller)

ขณะที่ใบจักรเรือหมุนอยู่ในน้ำจะเกิดแรงดูดให้น้ำไหลเข้าหาใบจักร ด้านนี้ของใบจักรเรียกว่า ด้านดูด (Suction Side) ในขณะเดียวกัน อีกด้านหนึ่งของใบจักรจะเกิดแรงผลักน้ำออกจากใบจักร ด้านนี้ของใบจักรเรียกว่าด้านกำลังดัน (Pressure Side) ผลลัพธ์ของแรงทั้งสองด้านนี้จะทำให้เกิดแรงตามแนวเพลาใบจักรทำให้เรือเคลื่อนที่ไปได้

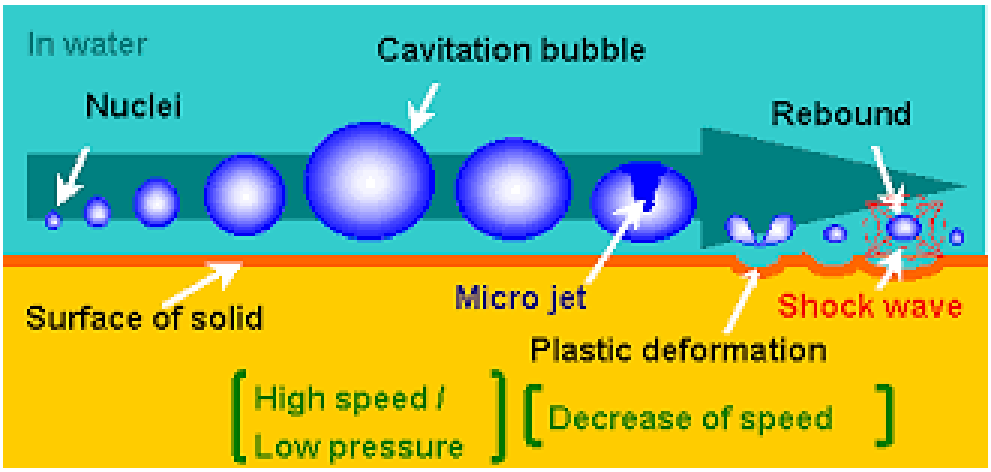
4.1. คาวิเทชั่น (Cavitation)

คาวิเทชั่น (Cavitation) หรือปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ เป็นปรากฏการณ์เดือดเย็นในการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นไอและมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวและยุบตัวลงในภายหลัง อันมีผลมาจากการหมุนวนของใบจักรทำให้ความดันลดต่ำลงจนต่ำกว่าความดันไอของน้ำ อันเนื่องมาจากขณะที่ใบจักรหมุน น้ำซึ่งไหลผ่านส่วนต่างๆของใบจักรนั้น จะเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีผลมาจากพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลงหรือรูปร่างลักษณะของใบจักร รวมถึงสถานการณ์อื่น ๆ ที่ส่งผลให้แรงดันของน้ำเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ตลอดเวลา

4.1.1. ขั้นตอนในการเกิดคาวิเตชั่น

4.1.1.1. เกิดการลดลงของแรงดันของน้ำเนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงผ่านจุดที่มีพื้นที่เล็กด้วยอัตราการไหลของน้ำที่คงที่ หรือน้ำที่เคลื่อนที่อยู่บริเวณปลายปีกใบพัด ทำให้แรงดันของน้ำตรงจุดนั้นลดลงต่ำกว่าแรงดันไอของน้ำ ทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอหรือฟองไอ (Bubbles or Gas Bubbles) ที่แรงดันต่ำกว่าแรงดันไอ การระเหยกลายเป็นฟองไอของน้ำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงดังกล่าวนั้น ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นจากเดิมถึงสูงสุดประมาณ 1,700 เท่าโดยมีลักษณะเป็นฟองสีขาวเคลื่อนที่อยู่ในน้ำที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและฟองไอขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

4.1.1.2. เมื่อฟองไอ (Bubbles or Gas Bubbles) ที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ต่อไปและเข้าสู่ในจุดที่มีแรงดันในน้ำสูง เช่น ผ่านจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้นก็จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลง ดังนั้นแรงดัน ณ จุดดังกล่าวจึงสูงขึ้นและไปบีบหรือกดให้ฟองไอดังกล่าวเกิดการยุบตัว และการยุบตัวที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็วอัตราส่วนปริมาตรในการยุบตัวของฟองไอจากแรงกดเนื่องจากแรงดันที่เพิ่มจะกดให้ฟองไอยุบตัวกลับภายในเสี้ยววินาที

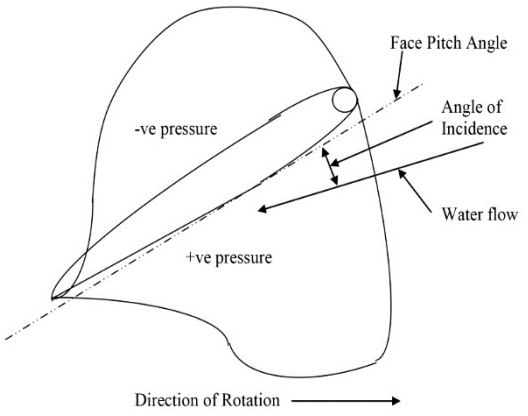


Cavitation Bubble Dynamic

4.2. การเกิดคาวิเตชั่นของใบจักรเรือ (Propeller Cavitation)

ในขณะที่ใบจักรหมุน บริเวณรอบๆ ปีกใบจักร (Blades) กำลังดันน้ำจะลดลง เนื่องจากน้ำเคลื่อนที่หรือไหลเข้าหาใบจักร (ตามกฎทางฟิสิกส์ : เมื่อของไหลเคลื่อนที่ กำลังดันจะลดลงเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กัน) ถ้าน้ำเคลื่อนที่หรือไหลด้วยความเร็วสูงมาก กำลังดันก็จะลดลงมาก จนกระทั่งลดลงถึงจุดที่ทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอที่อุณหภูมิปกติของน้ำซึ่งเป็นการเดือดเย็น (Cold Boiling) ที่เรียกว่า การเกิดโพรงอากาศ (Cavitation) ปนอยู่ในกระแสน้ำที่ไหลเข้าหาใบจักร ปรากฏการณ์ดังกล่าว จะเกิดขึ้นมากบริเวณรอบ ๆ ปีกใบจักร (Blades) โดยเฉพาะด้านดูด (Suction Side) หลังโยงโย่ยึดเพลา (Shaft Bracket) ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของตัวเรือ เมื่อฟองอากาศเหล่านี้ไหลตามกระแสน้ำปะทะปีกใบจักรหรือถึงจุดที่มีกำลังดันสูงขึ้น ก็จะยุบตัว (Collapse) เป็นน้ำทันที ทำให้เกิดคลื่นแรงกระแทก (Shock Wave) เป็นกำลังดันที่แหลมคม (Sharp Pressure) ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานจะทำให้พื้นผิวใบจักรชำรุดเป็นรูพรุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำทะเลที่การกัดกร่อนจากโพรงอากาศ (Cavitation Erosion) จะมีเพิ่มมากขึ้นจากปฏิกิริยาการกัดกร่อนทางไฟฟ้า (Galvanic Corrosion)

ขณะที่ฟองอากาศมีการยุบตัวนั้น จะได้ยินเสียงเคาะที่เกิดจากแรงกระแทกของฟองอากาศต่อใบจักร เรียกว่า Metallic Bangs เป็นจังหวะไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะได้ยินชัดเจนจากในห้องหางเสือ โดยส่วนใหญ่คาวิเตชั่นจะเกิดกับใบจักรที่รับภาระหนักหรือแรง thrust สูงๆ



Typical Pressure Regime Round Marine Propeller Blade Section

4.3. ชนิดของการเกิดคาวิเตชั่น

คาวิเตชั่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ

4.3.1 Tip

เป็นแบบของคาวิเตชั่นที่พบได้เป็นส่วนใหญ่เนื่องจากบริเวณปลายของปีกใบจักรเป็นส่วนที่เคลื่อนที่เร็วที่สุด จึงได้รับผลกระทบจากความดันที่ลดต่ำลงมากที่สุด

4.3.2. Sheet

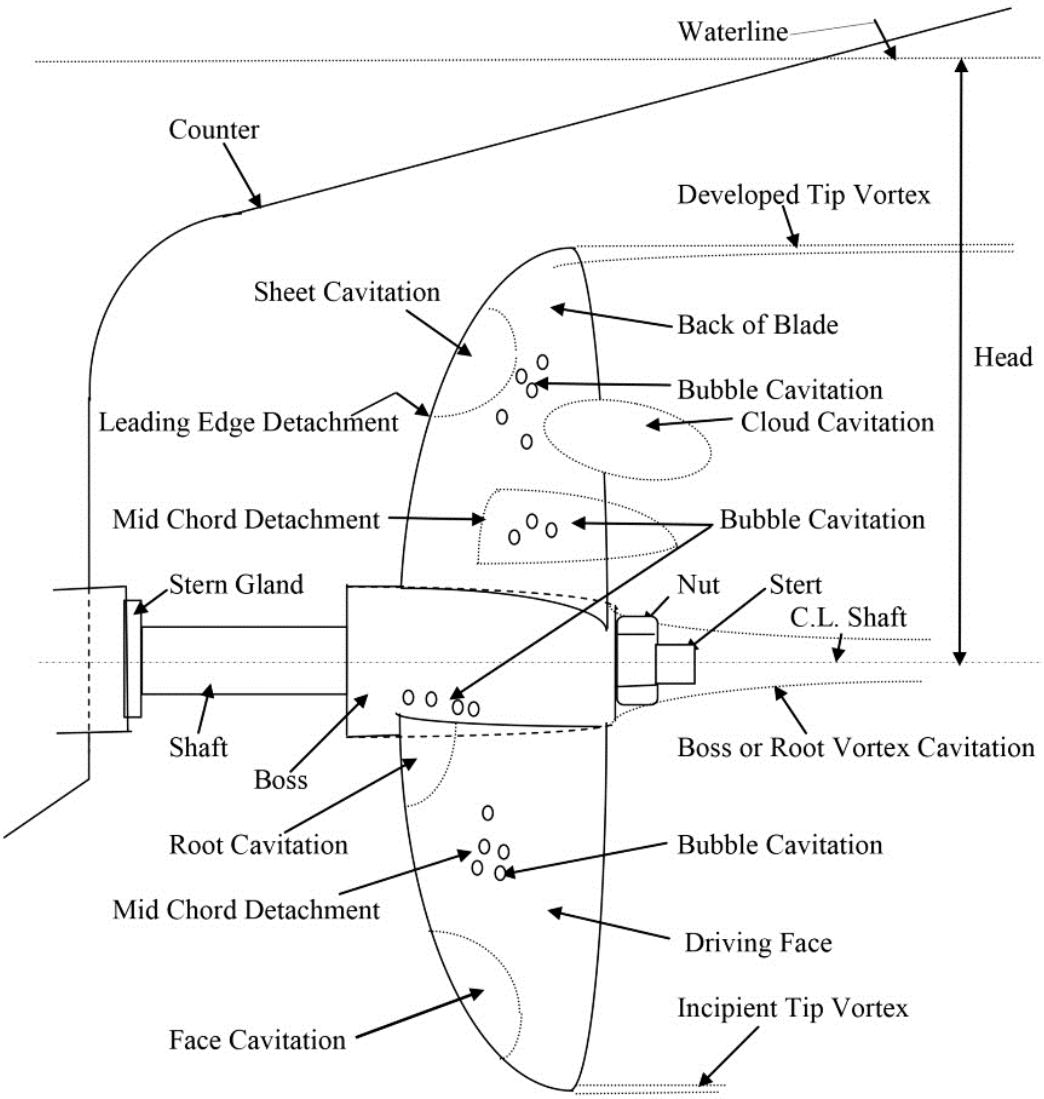
Sheet Cavitation เกี่ยวโยงไปถึงส่วนใหญ่และส่วนที่มั่นคงบนใบจักรแต่ไม่จำเป็นว่าจะครอบคลุมบริเวณผิวหน้าทั้งหมด ทางดูดด้านหน้าของใบจักรจะไวต่อการเกิด Sheet Cavitation เพราะมีกำลังต่ำ

หมายเหตุ

ถ้าการตั้งมุมปะทะของใบจักรไม่ถูกต้อง (ตัวอย่างเช่น ในระบบ CPP) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิด Cavitation บนผิว หน้าของใบจักร

4.3.3. Spot

Spot Cavitation จะปรากฏที่บริเวณใบจักรที่มีรอยครูดหรือผิวหน้าที่ไม่สมบูรณ์เป็นผลของการเกิด Cavitation



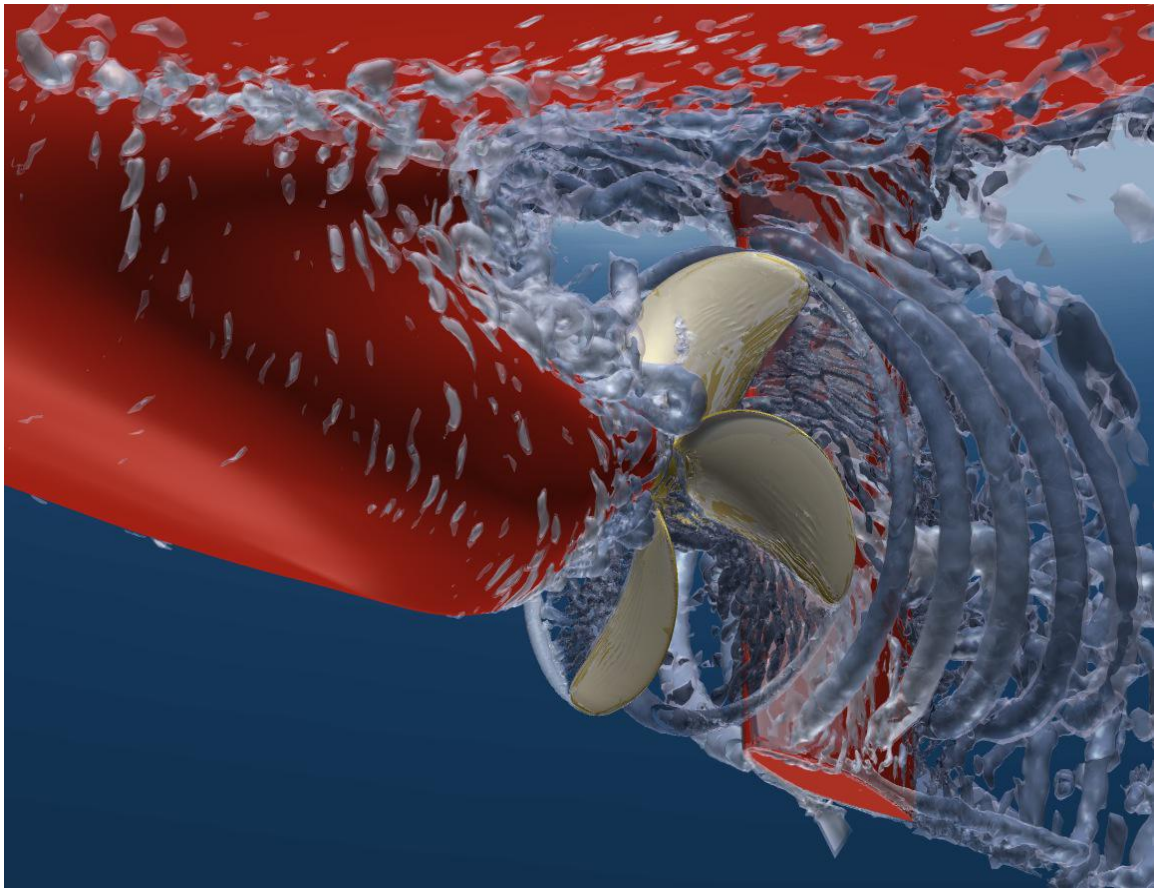
Various Types of Cavitation

4.4. ผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก Cavitation

การเกิด Cavitation บนใบจักรนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ดีและก่อให้เกิดผลเสียต่อประสิทธิภาพของเรือและผลทางด้านยุทธการตามมาดังนี้

- ลดแรงผลักที่เกิดขึ้นโดยใบจักร
- การกัดกร่อนของใบจักร ตามรูปแบบฟองอากาศของ Cavitation และการชำรุดบนปลายใบจักรและด้านหน้าของใบจักร การเกิดแรงดันคลื่นเป็นเหตุให้โลหะจำนวนน้อยถูกกัดกร่อนหมดไป การเกิด Cavitation ที่มากเกินไปทำให้ปลายใบจักรกัดกร่อนและเป็นเหตุให้เกิดความไม่สมบูรณ์อื่นบนผิวหน้าใบจักร
- การสั่นสะเทือนบนเพลาใบจักรและด้านท้ายเรือ เนื่องจากกระแสน้ำไหลผ่านใบจักรโดยรอบไม่สมดุล ทำให้ใบจักรสั่นไหว (Fluctuate) และถ่ายทอดแรงสั่นไหวดังกล่าวผ่านใบจักรสู่ตัวเรือด้านท้ายเรือ
- เพิ่มการแผ่สัญญาณเสียงของเรือในกรณีเรือรบ ควรหลีกเลี่ยงการเกิด Cavitation เพราะเสียงของการเกิด Cavitation เป็นอันตรายต่อตำแหน่งที่ตั้งของเรือ ที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะปฏิบัติงานอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเรือดำน้ำของข้าศึก ระบบ Prairie-Masker ใช้กับเรือรบต่าง ๆ หลายประเภท มีประสิทธิภาพในการลดเสียงของ

เครื่องยนต์และ Cavitation ส่วน Prairie ของระบบเส้นทางเดินอากาศอัดจากใบไปยังขอบและปลายใบจักร (ส่วนที่มักเกิด cavitation) ที่เกิดเข้าไปในน้ำทะลุผ่านรูเล็ก ๆ ฟองอากาศที่เกิดจากใบจักรจะลดลงช่วยลดการเกิด Cavitation การป้องกันการเกิด Cavitation



Propeller-Induceed Vibration Impulses

4.5. การลดการเกิด Cavitation

- Fouling

ใบจักรต้องเก็บรักษาอย่างดีโดยหน่วยของกองทัพเรือและต้องไม่มีร่อง รอยครูด Fouling เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของใบจักรลดลง เท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสการเกิด Cavitation แม้ว่ารอยครูดเล็กๆจะเป็นเหตุให้เกิด Spot cavitation และส่งผลให้เพิ่มการแผ่ของเสียงเท่ากับการกัดกร่อนของใบจักร กองทัพเรือแนะนำให้มีการตรวจสอบอย่างละเอียดและทำความสะอาดใบจักรเพื่อป้องกันผลกระทบจาก Fouling

- Speed

เรือทุกลำมีความเร็วเริ่มต้นการเกิด Cavitation ความเร็วของการเกิด Tip Cavitation ยกเว้นการปฏิบัติการที่สำคัญ เรือควรที่จะใช้ความเร็วต่ำกว่าความเร็วการเกิด Cavitation เริ่มต้น

- Thrust

สำหรับเรือที่ใช้ระบบ Manual (กังหันไอน้ำ) ผู้ใช้การต้องไม่เพิ่มรอบเพลาและแรงผลักอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเร่งความเร็ว การวิเคราะห์สมการของสัมประสิทธิ์แรงผลัก (CT) แสดงให้เห็นว่าแรงผลักของใบจักรสูง (T) และความเร็วผ่านใบจักรต่ำ (VA) การเพิ่มภาระสัมประสิทธิ์แรงผลักอาจเป็นผลต่อ Cavitation

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A_0 V_A^2}$$

เมื่อเร่งความเร็วควรจะบังคับอย่างช้าๆ เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างพอเหมาะกับแรงผลักใบจักร เรือควรใช้ตารางแนะนำในการบังคับเรือหรือ Hydrophones ตรวจวัดค่า Cavitation จากใบจักร

- Pitch

ผู้ใช้งานเรือเกี่ยวกับระบบ CPP ต้องระมัดระวังในการปรับเพิ่มหรือลดพิชท์ใบจักรให้ราบเรียบ นี่คือการใช้งานปกติของระบบควบคุมระบบขับเคลื่อนเรือการใช้งานที่ผิดของระบบปรับพิทช์ใบจักรนั้นอาจเป็นเหตุให้เกิดภาระแรงผลักสูงบนใบจักรและเพิ่มความเป็นไปได้ที่จะเกิด Cavitation

- Depth

Cavitation เป็นฟังชั่นของ Hydrostatic Pressure การเพิ่ม Hydrostatic Pressure มีความเป็นไปได้ที่จะลดการเกิด Cavitation เรือดำน้ำเป็นลักษณะพิเศษที่ไวต่ออิทธิพลความลึกและการเกิด Cavitation ความลึกของเรือดำน้ำมีผลต่อ hydrostatic pressure ที่ใบจักร เมื่อปฏิบัติการที่ความลึกไม่มาก Hydrostatic Pressure ลดต่ำและ Cavitation ที่ใบจักร ที่ความเร็วรอบเพลาต่ำและภาระแรงผลักต่ำขณะที่ความลึกเพิ่มขึ้น Hydrostatic Pressure จะเพิ่มและ Cavitation จะเกิดช้า เพราะฉะนั้น เรือน้ำจึงสามารถปฏิบัติการได้ที่ความความเร็วสูงกว่า ลึกกว่า และมีเสียงรบกวนจาก Cavitation น้อย

5. ผลจากการทำงานของใบจักรลักษณะต่างๆ

5.1. ค่าพิทช์ใบจักร

พิทช์ใบจักรที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดโพรงอากาศ (Cavitation) ด้านดูด (Suction Side) มาก แต่ถ้าพิทช์ใบจักรลดลง จะเกิดทางด้านกำลังดัน (Pressure Side) มาก

5.2. ลักษณะปีกใบจักร

ปีกใบจักร (Blade) ที่แคบเกินไป จะเกิดโพรงอากาศ (Cavitation) มากกว่าปีกใบจักรที่กว้าง

5.3. เส้นผ่าศูนย์กลางของใบจักร

เพื่อให้ได้แรงผลักดีที่สุด (Optimum Thrust) จะใช้ขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ (แต่มีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ช่องว่างสำหรับติดตั้งใบจักร) ถ้าต้องการให้ได้ประสิทธิภาพทางด้านความเร็วดีที่สุด (Optimum RPM) หรือต้องการให้เรือมีความเร็วสูงจะใช้ใบจักรขนาดเล็กที่หมุนด้วยความเร็วสูง

5.4. จำนวนปีกใบจักร (Blade) ของใบจักร

จะส่งผลด้านความสั่นสะเทือน (Vibration) และเสียงดัง (Noise) โดยปกติขณะใบจักรหมุน ถ้าใบจักรมีจำนวนปีกใบจักรน้อยการสั่นสะเทือนจะมาก แต่ถ้าจำนวนปีกใบจักรมากการสั่นสะเทือนจะน้อย แต่จำนวนปีกใบจักรที่มีจำนวนมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพ (Efficiency)ของใบจักรลดลงบ้างเล็กน้อย ใบจักรที่ปรับพิทช์ได้(CPP) ส่วนมากจะใช้ ๓ หรือ ๔ ใบ บางครั้งอาจถึง ๕ ใบ

5.5. การให้กำลังงานออก (Output) ของเครื่องจักรใหญ่

สำหรับใบจักรพิทช์คงที่(FPP) จะถูกออกแบบมาให้ทำงานเพื่อให้เรือได้ความเร็วสูงสุดแน่นอนความเร็วหนึ่ง แต่ขณะเรือไม่สามารถทำความเร็วได้สูงสุด ซึ่งอาจจะด้วยสาเหตุต่าง ๆ เช่น สภาพท้องทะเล มีคลื่นลมจัด จะทำให้เครื่องจักรใหญ่ไม่สามารถเร่งได้ถึงความเร็วสูงสุด จึงให้กำลังงานออก(Output)ไม่ได้สูงสุด สำหรับใบจักรที่ปรับพิทช์ได้ (CPP) ในสภาพดังกล่าวสามารถลดพิทช์ใบจักรเพียงเล็กน้อย เพื่อให้เครื่องจักรใหญ่สามารถรักษาความเร็วสูงสุดคงที่ได้ ทำให้เครื่องจักรใหญ่ให้กำลังงานออกคงที่สูงสุดได้ แต่การเพิ่มหรือลดพิทช์ใบจักรจะมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ (Cavitation) ดังที่กล่าวมาแล้ว

5.6. การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือ

การเปลี่ยนทิศทางของเรือจากเดินหน้าเป็นถอยหลัง หรือจากถอยหลังเป็นเดินหน้า สำหรับใบจักรพิทช์คงที่ (FPP) ทำได้โดยการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของใบจักรด้วยชุดเกียร์ (Gearbox) หรือ เปลี่ยนทางหมุนของเครื่องจักรใหญ่ สำหรับใบจักรที่ปรับพิทช์ได้ (CPP) สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนพิทช์ใบจักรในขณะที่ทิศทางหมุนของใบจักรยังคงเดิม ส่งผลให้การเปลี่ยนทิศทาง การเคลื่อนที่ของเรือได้เร็วกว่า แต่การเปลี่ยนพิทช์ใบจักรเป็นถอยหลัง จะทำให้ประสิทธิภาพใบจักรลดลงเมื่อเทียบกับใบจักรพิทช์คงที่(FPP) แต่สามารถชดเชยได้โดยการรักษาความเร็วให้คงที่ที่ความเร็วสูง ๆ

5.7. การหยุดการเคลื่อนที่ของเรืออย่างกะทันหัน (Crash Stop)

ใบจักรที่ปรับพิทช์ได้(CPP) จะใช้เวลาน้อยกว่าและระยะทางหยุดจะสั้นกว่า

5.8. ความสามารถในการหันเลี้ยวของเรือ(Steering Ability)

ขณะเรือเคลื่อนที่ จะขึ้นอยู่กับปัจจัย ๒ ประการ คือ

5.8.1. แรงหางเสือ (Rudder Force)

การหันมุมของหางเสือจะเกิดแรงที่บังคับการหันเลี้ยวซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของเรือ **(**ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านหางเสือ**)**

5.8.2. แรงผลักน้ำ (Thrust) ของใบจักร

ดังนั้น ถ้าเรือเคลื่อนที่ขณะใบจักรไม่มีทั้งแรงผลักน้ำ (Thrust) และแรงต้านน้ำ (Brake) ความสามารถในการหันเลี้ยวจะได้รับจากความเร็วเรือเท่านั้น ในการหยุดเรืออย่างกระทันหัน (Crash Stop) โดยการกลับทางหมุนของใบจักรพิทช์คงที่ (FPP) หรือ ปรับพิทช์ 0% (ศูนย์) หรือถอยหลังของใบจักรที่ปรับพิทช์ได้ (CPP) จะทำให้แรงหางเสือเป็นศูนย์ เนื่องจากขณะที่เรือถูกทำให้หยุดอย่างรุนแรงด้วยใบจักร เรือยังคงเคลื่อนที่อยู่ แต่จะไม่มีน้ำไหลผ่านหางเสือหรือมีน้อยมาก เป็นผลให้หางเสือไม่มีแรงหรือมีน้อยมาก ดังนั้น ถ้าต้องการรักษาความสามารถให้การบังคับการหันเลี้ยวของเรือและไม่ต้องการหยุดเรืออย่างกระทันหัน สำหรับใบจักรที่ปรับพิทช์ได้ (CPP) จะต้องไม่ลดพิทช์ใบจักรเป็น 0% (ศูนย์) อย่างฉับพลันทันที แต่ให้ค่อยๆ ลดพิทช์ใบจักรลงตามความเร็วเรือที่ลดลง

6. การมีอากาศหมุนเวียนของใบจักร

การมีอากาศหมุนเวียนเป็นผลกระทบที่มักจะเกิดขึ้นกับ Cavitation ถ้าใบจักรทำงานใกล้กับผิวน้ำมากๆ ความดันต่ำจำกัดที่เกิดจากใบจักรสามารถเกิดอากาศใต้น้ำและสาเหตุเหมือนกับที่กล่าวถึงสำหรับ Cavitation การมีอากาศหมุนเวียนเป็นไปได้สูงกับการปฏิบัติการที่ระวางขับน้ำน้อยๆ (สภาวะปกติของเรือสินค้า) เรือที่ปฏิบัติการในทะเลที่ไม่สงบเป็นเหตุให้ใบจักรเรือพ้นน้ำและเกิดทริมลบมาก

.....

บรรณานุกรม

- รายละเอียดของเฟืองและวัสดุเฟือง ตอนที่ 1 (Thailandindustry.com)
- การเขียนแบบเฟือง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องและสถาปัตย์กรรมศาสตร์ จักรกลเกษตร) (ame.ea-rmuti.net)
- กรรมวิธีการผลิต บทที่ 7 การผลิตเฟือง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น) (Krrmwithikarphlitt)
- การบูรณาการระบบขับเคลื่อนของเรือ (Combine Marine Propulsion System : CMPS) (นิตยสารนาวิกศาสตร์ ปีที่94 ฉบับที่ 11 พฤศจิกายน 2554)
- ใบจักรสำคัญไฉน (thaiboatclub.com)
- เทคโนโลยีทางเรือ เรื่องใบจักรเรือ (http://thaiseafarer.com/technologies/ship-propeller.php)
- Basic Principles of Ship Propulsion (MAN Diesel & Turbo)
- Naval Ships' Technical Manual Chapter 241/243/244
- Fireman (Navedtra 14104)
- เอกสารประกอบการเรียน (เพื่อพลาง) หัวข้อวิชา ความต้านทานและกำลังขับเคลื่อนตัวเรือ (กองฝึกการช่างกล กฝร.)
- เอกสารประกอบการเรียน (เพื่อพลาง) หัวข้อวิชา ระบบขับเคลื่อน (กองฝึกการช่างกล กฝร.)
- เอกสารประกอบการเรียน (เพื่อพลาง) หัวข้อวิชา ระบบส่งกำลังขับเคลื่อน (หมู่เฟืองทดรอบเพลาใบจักร) (กองฝึกการช่างกล กฝร.)
- เอกสารประกอบการเรียน (เพื่อพลาง) หัวข้อวิชา ระบบเพลาใบจักร (กองฝึกการช่างกล กฝร.)
- ระบบปรับพิทช์ใบจักร (กองฝึกการช่างกล กองการฝึก กองเรือยุทธการ)
- เพลาใบจักรและแบริ่งรองรับเพลาใบจักรของเรือรบในราชนาวีไทย (กองโรงงานเครื่องกล อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า)