



มอร. 243 – 0004 – 0966

การตั้งศูนย์เฟลาใบจักรและ
ระบบขับเคลื่อนเรือ

มาตรฐานงานช่าง กรมอุทการเรือ

มอร. 243 – 0004 – 0966

การตั้งศูนย์เพลลาใบจักรและ
ระบบขับเคลื่อนเรือ

แก้ไขครั้งที่	๓	เมื่อ	ก.ย.๖๖
แก้ไขครั้งที่		เมื่อ	
แก้ไขครั้งที่		เมื่อ	



ประกาศกรมอุทการเรือ
เรื่อง กำหนดมาตรฐานงานช่าง กรมอุทการเรือ
พ.ศ.๒๕๖๖

อาศัยอำนาจความในข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๒ แห่งระเบียบกรมอุทการเรือ ว่าด้วยมาตรฐานงานช่าง พ.ศ.๒๕๕๑ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอุทการเรือ จึงกำหนดมาตรฐานงานช่าง กรมอุทการเรือ หมายเลข มอ. ๒๔๓-๐๐๐๔-๐๔๖๖ การตั้งศูนย์เพลลาใบจักรและระบบขับเคลื่อนเรือ ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๖๗ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๖

พลเรือตรี

(กริช ชันธอุบล)

เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอุทการเรือ

รายการแก้ไข

หมายเลขหน้า

การแก้ไขครั้งที่

บันทึกการแก้ไข

วัน เดือน ปี	รายการแก้ไข

มอ.ร. 243 – 0004 –0966

มาตรฐานงานช่าง กรมอุทการเรือ
การตั้งศูนย์เพลลาใบจักรและระบบขับเคลื่อนเรือ

1. เอกสารอ้างอิง

ดูผนวก ก.

2. ความมุ่งหมาย

การจัดทำมาตรฐานงานช่างกรมอุทการเรือว่าด้วยการตั้งศูนย์เพลลาใบจักรนี้ เพื่อรวบรวมข้อมูลและแนวทางการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการตั้งศูนย์เพลลาใบจักรที่ปฏิบัติอยู่ในกรมอุทการเรือไว้ในแหล่งอ้างอิงอันเดียวกัน สำหรับเป็นวิธีปฏิบัติมาตรฐานในการออกแบบ และการติดตั้งเพลลาใบจักรและอุปกรณ์รวมทั้งเครื่องจักรใหญ่และเกียร์ให้ได้ศูนย์ที่ถูกต้อง

3. คำนิยาม

3.1 เพลลาใบจักรและอุปกรณ์ หมายถึง อุปกรณ์ต่อไปนี้คือ เพลลา, แบร้งรับเพลลาทุกตัว, โยงโย, ใบจักร, กระบอกตีฟุต

3.2 เส้นอ้างอิง (Reference Line) หมายถึง เส้นเส้นหรือแนวเส้น รวมทั้งเครื่องหมายที่ทำไว้กับตัวเรือหรือพื้นโลกที่สามารถใช้กำหนดตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ของเพลลาใบจักรและอุปกรณ์ได้

3.3 การตั้งศูนย์เพลลา หมายถึง การติดตั้งแบร้งรับเพลลาทุกตัวให้เกิดผลดังต่อไปนี้ทุก ๆ ข้อ

3.3.1 แร้งกดบนแบร้ง (Bearing Load) แต่ละตัวไม่สูงหรือต่ำเกิน 20% ของค่าที่ได้จากการคำนวณ หรือ ไม่สูงเกิน 80% ของค่าที่กำหนดโดยผู้ผลิต

3.3.2 ไม่เกิดความเค้นในเพลลาจนอาจทำให้เพลลาขาดด้วยการแตกหัก (Fracture) ระหว่างการใช้งาน

3.3.3 ระดับความสั่นสะเทือนที่เพลลาใบจักรและอุปกรณ์รวมทั้งเกียร์ไม่สูงมากเกินไป

3.3.4 แร้งกดบนแบร้งประเภทเดียวกันในตำแหน่งข้างเคียงจะต้องมีค่าใกล้เคียงกัน

4. สิ่งที่ต้องคำนึงในการตั้งศูนย์เพลลา

4.1 ผู้ออกแบบจะต้องระลึกเสมอว่า จำนวนแบร้งทั้งหมดที่รองรับเพลลาแต่ละกราบและระยะห่างระหว่างแบร้งจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแอ่นตัวของเพลลา (Shaft Deflection) ความเค้นที่เกิดในเพลลาและค่าของแร้งกดบนแบร้ง นอกจากนั้นระยะทางจากแบร้งในโยงโยตัวท้ายสุดถึงจุดศูนย์กลางคุมใบจักรและระยะทางระหว่างแบร้งคู่ที่ใกล้ใบจักรจะมีผลต่อจุดสั่นของเพลลา

4.2 ในระบบเพลลาใบจักรของเรือแต่ละลำนั้น การเปลี่ยนตำแหน่งของแบร้งแต่ละตัวในทางดิ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของความเค้นในเพลลา และค่าของแร้งกดบนแบร้งเสมอ

4.3 การแอ่นตัวของตัวเรือ (Hull deflection) สามารถเกิดขึ้นได้จากตัวการต่อไปนี้

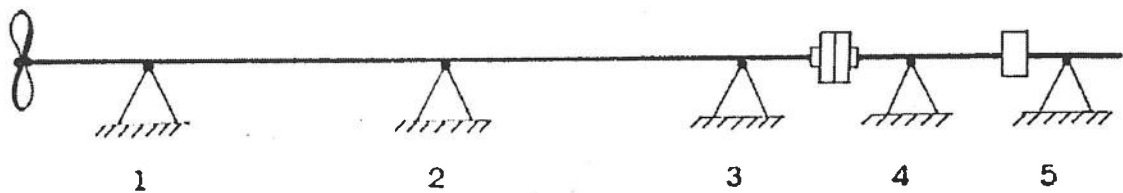
4.3.1 แสงแดดที่ส่องลงบนตัวเรือโดยตรง

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศ

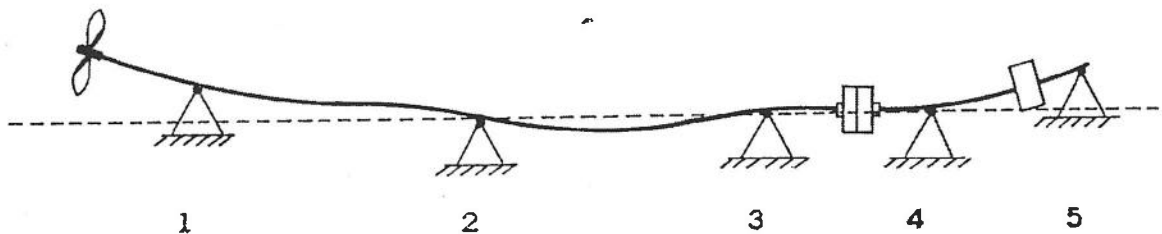
4.3.3 เมื่อเรือลอยในน้ำ น้ำหนักของเรือถูกพยุงไว้ด้วยน้ำ แต่เมื่อเรือเข้าอู่แห้ง เรือจะถูกรองรับด้วยหมอนที่วางอยู่เป็นจุด ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการแอ่นตัวของตัวเรือ ตำแหน่งของแบร้งทุกตัวที่ติดอยู่บนตัวเรือก็จะเปลี่ยนไปด้วย การตั้งศูนย์เพลลาจึงต้องกระทำในช่วงเวลาที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง งานติดตั้งโยงโยปลอกรับแบร้งรองรับเพลลา ต้องกระทำเมื่อเรืออยู่ในอู่แห้ง งานติดตั้งแบร้งภายในเรือและหน้าแปลนเกียร์ต้องกระทำขณะที่เรือลอยในน้ำ

4.4 เกียร์ของเรือขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อใช้เครื่องจักรใหญ่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน แบร็งของเพลาก็จะขยายตัวและเปลี่ยนตำแหน่งสูงขึ้น นอกจากนั้นเกียร์บางประเภทอาจเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งทางข้างของแบร็งเพิ่มขึ้นอีก ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแบร็งของเกียร์จะต้องขอจากบริษัทผู้ผลิตเกียร์

4.5 ตำแหน่งของแบร็งรับเพลาจอาจอยู่บนเส้นตรงเดียวกันหมด ตามรูปที่ 1 เรียกว่า Straight Line Alignment หรืออาจวางตำแหน่งอยู่บนเส้นโค้ง ตามรูปที่ 2 เรียกว่า Fair Curve Alignment ทั้งนี้ วิศวกรผู้ออกแบบระบบเพลามือสร้างเรือจะเป็นผู้กำหนดเพื่อให้เป็นไปตามสิ่งที่ต้องการในข้อ 3.3



รูปที่ 1 การตั้งศูนย์เพลาระบบแบร็งทุกตัวอยู่บนเส้นตรง



รูปที่ 2 การตั้งศูนย์เพลาระบบแบร็งอยู่บนเส้นโค้ง

4.6 ก่อนการตั้งศูนย์เพลาก็จะต้องแน่ใจว่าขนาดของเพลาลูกกลิ้งทุกชิ้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ผิวของชิ้นงานมีความเรียบหรือขรุขระตามเกณฑ์กำหนดในแบบแปลน

5. การตั้งศูนย์เพลาสําหรับกรณีเรือต่อใหม่

5.1 การคำนวณสําหรับการตั้งศูนย์เพลาลูกกลิ้ง ดูละเอียดใน ผนวก ข.

5.2 ความเรียบร้อยของการสร้างโครงสร้างตัวเรือ

5.2.1 การเชื่อมแผ่นเหล็กเปลือกเรือทุกแผ่นเสร็จเรียบร้อย

5.2.2 งานเชื่อมประสานโครงสร้างของเรือทุกส่วนที่จะมีผลให้ท้ายเรือกระดก เช่น ฝากระโปรงท้ายห้องเครื่องจักร, ดาดฟ้าท้ายเรือ จะต้องกระทำให้เสร็จสิ้น

5.2.3 ถังน้ำและถังน้ำมันที่ใช้ส่วนของตัวเรือเป็นผนังถังบริเวณตั้งแต่กึ่งกลางห้องเครื่องจักรไปทางท้ายเรือ จะต้องสร้างให้เสร็จและทำการทดลองรั่วโดยการอัดน้ำให้เรียบร้อยก่อนการตั้งศูนย์เพลาลูกกลิ้ง และต้องไม่มีของเหลวเหลืออยู่ในถังทุกถัง

5.2.4 ปลดสิ่งค้ำยันและรั้งเรือออก ปล่อยให้เรือนิ่งเป็นอิสระอยู่บนหมอน

5.3 การแบ่งมอบหน้าที่

5.3.1 จนท.จากโรงงานขยายแบบเป็นผู้กำหนดตำแหน่งที่จะตั้งกล้องเล็งและกำหนดแนวเล็งและจุดอ้างอิงต่างๆ โดยอ่านจากแบบ General Shaft Arrangement ฉบับที่แก้ไขเปลี่ยนแปลงล่าสุด

5.3.2 จนท.โรงงานเรือเหล็ก รับผิดชอบการเชื่อมประสานกระบอกดีฟุต และโยงโย่ ตามตำแหน่งที่ได้รับ การตรวจสอบแล้ว

5.3.3 จนท.จากโรงงานติดตั้งเพลลาและเครื่องจักรกล เป็นผู้ซึ่งลวดและตั้งกล้องเล็ง เพื่อเป็นแนวเส้นอ้างอิง ตั้งศูนย์ของกระบอกดีฟุต แบร็งรับเพลลาและโยงโย่

5.3.4 จนท.ควบคุมคุณภาพ เป็นผู้ตรวจสอบตำแหน่งของกล้องเล็งแนวเส้นลวดโดยอาศัยข้อมูลจากแบบ และ จนท.โรงงานขยายแบบ บันทึกข้อมูลและรับรองคุณภาพการตั้งศูนย์ของกระบอกดีฟุต แบร็งรับเพลลา และโยงโย่ รวมทั้งทำการทดสอบโดยไม่ทำลายเท่าที่จำเป็น

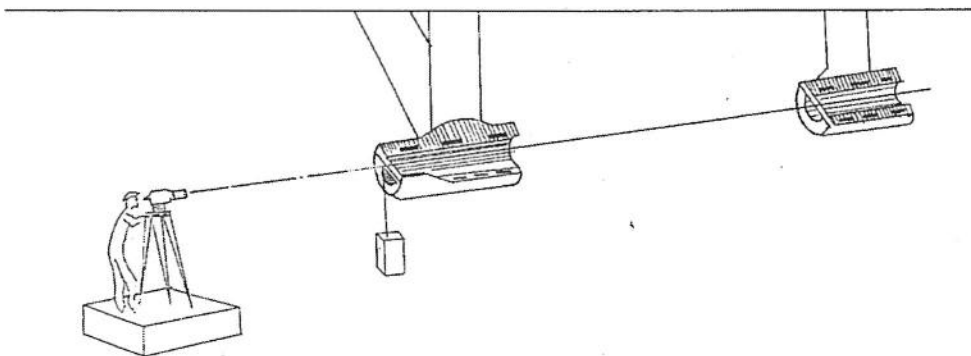
5.4 ขั้นตอนการตั้งศูนย์เพลลา

5.4.1 ในแบบ Shaft Arrangement ให้ทำการต่อเส้นตรงที่แสดงแนวศูนย์เพลลาไปพบฝากันด้านหัว และฝากันด้านท้ายของห้องเครื่องจักร ถ้ายจุดทั้งสองเป็นเครื่องหมายลงบนฝากันในเรือ เจาะรูวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 มม. ที่ฝากันท้าย โดยใช้เครื่องหมายดังกล่าวข้างต้นเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม

5.4.2 การเจาะรูฝากันอื่นๆ ที่อยู่ท้ายห้องเครื่องจักรใหญ่ให้เพลลาผ่านให้ปฏิบัติเหมือนการเจาะรูฝากันด้านท้ายเรือของห้องเครื่องจักร

5.4.3 เจาะรูที่ตัวเรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 มม. โดยกำหนดจุดศูนย์กลางจากข้อมูลจากแบบ ตามข้อ 5.4.1 เพื่อขยายให้ใหญ่ขึ้นเพื่อติดตั้งกระบอกดีฟุตในภายหลัง

5.4.4 กำหนดตำแหน่งของกล้องเล็งท้ายเรือ ใช้ลวดซึ่งจากเครื่องหมายที่ฝากันด้านหัวเรือของห้องเครื่องจักร ตรงไปยังรอกที่ถ่วงน้ำหนักไว้ที่ปลายลวดด้านท้ายเรือ ระหว่างตำแหน่งกล้องเล็งและโยงโย่ ตัวท้ายสุด (รูปที่ 3) ลวดที่กล่าวถึงควรเป็นลวดเปียโน ขนาดหมายเลข 6 และถ่วงด้วยน้ำหนัก 30 ปอนด์



รูปที่ 3 การตั้งกล้องเล็งและใช้น้ำหนักถ่วงลวด

5.4.5 ให้ทำการตรวจสอบแนวเพลลา (แนวลวด) ดังต่อไปนี้

- แนวเส้นลวดต้องแบ่งครึ่งระยะทางระหว่าง Girder 2 ข้าง ที่รองรับ Shockmount ของเครื่องจักรใหญ่และเกียร์ และแนวลวดจะต้องขนานกับแนวของ Girder ทั้งสองด้วย

- ตรวจสอบความสูงของลวดเหนือด้านบนของ Girder และตรวจดูว่าเมื่อติดตั้งเครื่องจักรใหญ่แล้วจะมีช่องว่างสำหรับสอดแผ่นซีมหรือไม่ ถ้าเป็นการเท Chockfast จะมีความหนาอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้หรือไม่

ใช้ Template จำลองรูปร่างโยงโย่ แล้วตรวจสอบกับแนวเส้นลวดว่าสามารถติดตั้งเข้ากับตัวเรือได้หรือไม่

ถ้าจำเป็นสามารถเปลี่ยนแนวลวดได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของศูนย์กลิ้งเล็งท้ายเรือ และเครื่องหมายผนังกันโครงสร้างของห้องเครื่อง โดยต้องปรึกษากับ จนท.จากกองออกแบบต่อเรือ เพื่อรักษาระยะระหว่างปลายปีกใบจักร และเปลือกเรือ (Propeller's tip clearance) น้อยเกินไป และเพื่อรักษามุมเส้นของเพลลาใบจักร (Rake Angle) ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ออกแบบแต่เดิมให้น้อยที่สุด

5.4.6 ติดตั้งแผ่นเหล็กที่มีความมั่นคง ณ ตำแหน่งหน้าแปลนของ Output shaft ของเกียร์ กำหนดจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเกียร์บนแผ่นนี้โดยให้อยู่บนแนวเส้นลวดที่ปรับตำแหน่งตามข้อ 5.4.5 แล้วปลดเส้นลวดจากฝักันมาซึ่งไว้กับจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเกียร์จำลองที่กล่าวนี้แทน

ถ้ามีเวลาและวัสดุเพียงพอ สามารถใช้แผ่น Template จำลองรูปร่างของเครื่องจักรใหญ่และเกียร์ พร้อมทั้งตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเกียร์แทนแผ่นเหล็กที่กล่าวถึงในวรรคแรกก็ได้

5.4.7 ชั่งลวดให้ตึงอีกครั้ง แล้วคว้านรูกลมบนฝักันทุกฝักันที่อยู่ด้านท้ายเรือของห้องเครื่องจักรให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้เพลาสอดผ่านได้โดยใช้เส้นลวดเป็นจุดศูนย์กลาง ต่อจากนั้นคว้านรูที่เจาะบนตัวเรือให้สามารถติดตั้งกระบอกดีฟุตได้

5.4.8 ปลดลวดทางด้านท้ายเรือออก ให้ JIG ประคองโยงโย่ทุกตัวเข้าที่อย่างชั่วคราวแล้วยึดเอาไว้

5.4.9 ติดตั้งแบร์รับเพลลาภายในเรือ และกระบอกดีฟุตและยึดให้อยู่กับที่ชั่วคราว

5.4.10 การตั้งศูนย์และติดตั้งโยงโย่

- ติดตั้งเป้า 2 เป้า ทางด้านท้ายและด้านหัวในแบร์รับของโยงโย่ ปรับแต่งจุดศูนย์กลางของเป้าทั้ง 2 ทับกับจุดศูนย์กลางของแบร์รับ โดยใช้กล้องเล็งช่วย

- ใช้สลักแต่งเกลียว (Adjusting Screw) ปรับแต่งโยงโย่ โดยใช้แนวเล็งลวดเป็นเส้นอ้างอิง เนื่องจากเส้นลวดจะมีการตกท้องข้างด้วยน้ำหนักของตัวเอง จึงต้องนำค่าการตกท้องข้างมารวมกับการวัดระหว่างการปรับแต่งด้วย คู่มือระยะตกท้องข้างจาก ผนวก ค.

ถ้าเป็นการตั้งศูนย์เพลลาแบบเส้นตรง ต้องปรับแต่งให้จุดศูนย์กลางของแบร์รับ (จุดศูนย์กลางของเป้า) อยู่สูงกว่าเส้นลวดเท่ากับระยะตกท้องข้าง ณ จุดนั้น ถ้าเป็นการตั้งศูนย์เพลลาแบบเส้นโค้ง Faired Curve จะต้องแต่งให้จุดศูนย์กลางของเป้าอยู่ห่างจากลวดด้วยระยะที่ต้องการแล้วบวกหรือลบออกด้วยระยะตกท้องข้าง ณ จุดนั้น แล้วแต่กรณี

การปรับแต่งโยงโย่จะต้องพยายามรักษาให้อัตราผิดของตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแบร์รับไม่เกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Tolerance) ที่กำหนดในแบบ ถ้าหน่วยออกแบบมิได้ระบุเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไว้ในแบบ ให้ใช้ข้อมูลจาก ผนวก ง.

- ติดตั้งโยงโย่เข้ากับตัวเรืออย่างถาวร ถ้าการติดตั้งกระทำด้วยการเชื่อมประสาน จะต้องระวังมิให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแบร์รับเปลี่ยนไปจนเกินเกณฑ์การคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ถ้าการติดตั้งกระทำโดยใช้สลักเกลียว และ Chockfast ให้ปฏิบัติตามมาตรฐานงานช่าง ว่าด้วยการติดตั้งเครื่องจักรสำคัญบนเรือ

5.4.11 ตั้งศูนย์แบร์รับเพลลาภายในตัวเรือ โดยปฏิบัติเหมือนการตั้งศูนย์โยงโย่ เมื่อเรียบร้อยแล้วจึงติดตั้งเข้ากับโครงสร้างตัวเรืออย่างถาวร อัตราผิดที่ยอมรับได้ของตำแหน่งและแบร์รับให้ดูจาก ผนวก ง.

5.4.12 การตั้งศูนย์และการติดตั้งกระบอกดีฟุต

- ใช้ JIG ประคองกระบอกดีฟุตให้ได้ศูนย์กับตำแหน่งของเส้นลวดที่ได้นำระยะตกท้องข้างมารวมไว้ด้วย ถ้าแบร์รับในกระบอกดีฟุตติดกับกระบอกดีฟุตด้วยการอัดเข้าที่ (Press Fit) หรือยึดสลักเกลียว เมื่อพบว่าจุดศูนย์กลางของแบร์รับได้ศูนย์กับเส้นลวดที่แก้ระยะตกท้องข้างแล้ว โดยมีอัตราผิดอยู่ในเกณฑ์

ที่ยอมรับได้ตาม ผนวก ค. ให้เชื่อมกระบอกลูกสูบเข้ากับตัวเรือ โดยต้องระวังมิให้จุดศูนย์กลางของแบริ่งในกระบอกลูกสูบเคลื่อนตัวจากตำแหน่งเดิมมากเกินไปจนกระทบต่อการยอมรับได้เนื่องจากการเชื่อม

- ถ้าการติดตั้งแบริ่งในกระบอกลูกสูบกระทำโดยใช้ Chockfast ให้ปฏิบัติตามข้อมูลในมาตรฐานงานช่าง ว่าด้วยการติดตั้งเครื่องจักรสำคัญบนเรือ

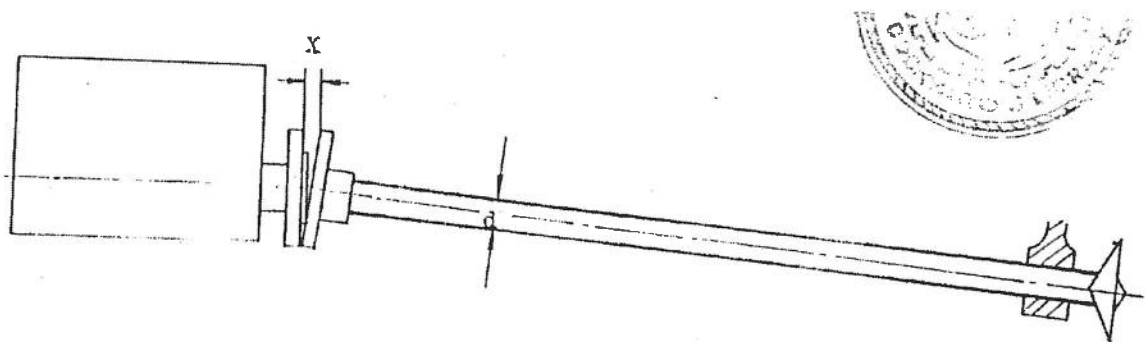
6. การตั้งศูนย์เกียร์ (Gearbox Alignment)

6.1 เมื่อใส่เพลาลูกสูบและลูกสูบแล้ว นำเรือลงน้ำ นำอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักมาก ๆ ลงเรือให้หมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่จะติดตั้งระหว่างท้ายเรือสุด และฝากันด้านหัวเรือของห้องเครื่องจักร นำเกียร์และเครื่องจักรใหญ่ลงในห้องเครื่องจักรปล่อยให้เรือลอยอยู่ในน้ำเป็นเวลา 3 วัน โดยระวังมิให้เชือกผูกเรือกับฝั่งตึง จึงเริ่มการตั้งศูนย์เกียร์

6.2 สร้างกรอบเหล็กขึ้นปะกับกับฐานของเกียร์และจัดทำสลักเกลียว (Adjusting Screw) เพื่อปรับแต่งให้เกียร์สามารถขยับตัวในทางตั้ง และทางระดับด้วยระยะที่มีความละเอียดสูง แล้วนำเกียร์ขึ้นวางบนแท่นให้มีระยะห่างระหว่างหน้าแปลนของ Output Shaft และหน้าแปลนเพลาลูกสูบประมาณ 1 เซนติเมตร การปฏิบัติขั้นต่อไปคือ การปรับตำแหน่งของเกียร์ โดยใช้หน้าแปลนของเพลาลูกสูบเป็นจุดอ้างอิง โดยจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเกียร์ ในกรณีที่ไม่มีคำแนะนำดังกล่าวให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตเกียร์อื่นที่มีขีดความสามารถส่งต่อกำลัง (Power Transmission) ที่ใกล้เคียงกัน หรือให้ดำเนินการตามข้อ 6.3 ถึง 6.6

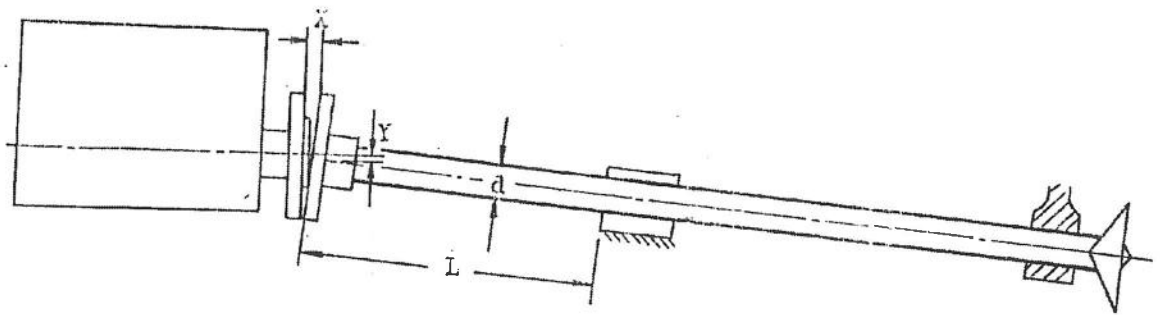
6.3 เกียร์ของเรือขนาดเล็ก ได้แก่ เรือ PCF, เรือ PGM ซึ่งมีความยาวทั้งหมดของเรือ (LOA) ไม่เกิน 30 เมตร ให้ปฏิบัติตามต่อไปนี้

ในกรณีที่มิมีแบริ่งรับเพลาลูกสูบเพียงตัวเดียว (ดูรูปที่ 4) เมื่อเลื่อนหน้าแปลนของเกียร์เข้าหาหน้าแปลนของเพลาลูกสูบ จนกระทั่งครกของหน้าแปลน (Recess) สวมเข้าบ่าและขอบล่างของหน้าแปลนแนบกัน ระยะ X ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะ GAP ที่ด้านบนหักออกด้วย GAP ด้านล่างจะต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในตารางที่ 1 โดยไม่ต้องสนใจค่า Y และ L



รูปที่ 4 การตั้งศูนย์เกียร์เรือ แบริ่งเพียงตัวเดียว

ในกรณีที่มิมีแบริ่งรับเพลาลูกสูบตั้งแต่สองตัวขึ้นไป (ดูรูปที่ 5) จุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเกียร์จะต้องอยู่ในระดับเดียวกันหรือสูงกว่าจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนไม่เกินค่า Y อันเป็นค่าสูงสุดของอัตราผิดที่ยอมรับได้ในตารางที่ 1 และในขณะเดียวกันระยะ GAP ด้านบนจะต้องไม่มากกว่าระยะ GAP ด้านล่าง เกินค่า X อันเป็นอัตราผิดสูงสุดที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตามถ้าความยาว L มีค่ามากและเพลาลูกสูบมีขนาดเล็ก การรักษาค่า Y มิให้เกินอัตราผิดสูงสุดที่ยอมรับได้อาจจะกระทำได้อย่างยาก



รูปที่ 5 การตั้งศูนย์เกียร์ของเรือที่มีแบร์ริงรับเพลาสองตัว

ในกรณีนี้ให้ใช้แม่แรงที่มีมาตรวัดแรงกดบนแม่แรงยกหน้าแปลนเพลาชั้น จนกระทั่งแรงกดมีค่าประมาณ 50 กิโลกรัม แล้วดำเนินการต่อไปด้วยเหมือนวิธีสำหรับเพลามีแบร์ริงรับเพลาสองตัวเดียวตามวรรคแรก

ความยาวระหว่างหน้าแปลนเพลากับแบร์ริงรับเพลาดำหัวเรือสุด (คือระยะ L ในรูปที่ 1) นั้นมีไว้สำหรับให้ส่วนของเพลานี้ที่ยื่นอยู่ (Overhang) มีความอ่อนตัว (Flexibility) เพียงพอ ค่าที่เหมาะสมของระยะ L จะขึ้นอยู่กับขนาดของเพลานี้ (d) ตามตารางที่ 1

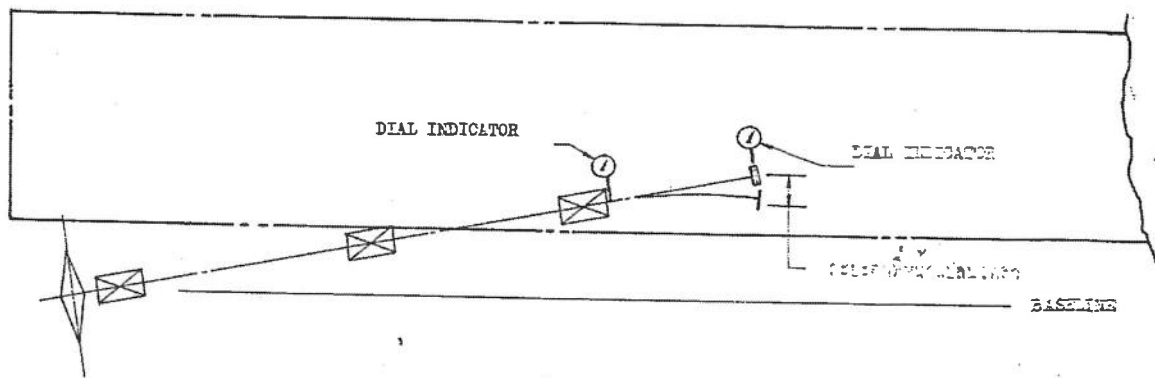
ตารางที่ 1 อัตราผลิตศูนย์ที่ยอมรับได้

d	$d < 100$ มม.	$100 \text{ มม.} < d < 150$ มม.	$d > 150$ มม.
L	ไม่น้อยกว่า 500 มม.	ไม่น้อยกว่า 1000 มม.	ไม่น้อยกว่า 2000 มม.
X	ไม่เกิน 0.1 มม.		
Y	ไม่เกิน 0.15 มม.		

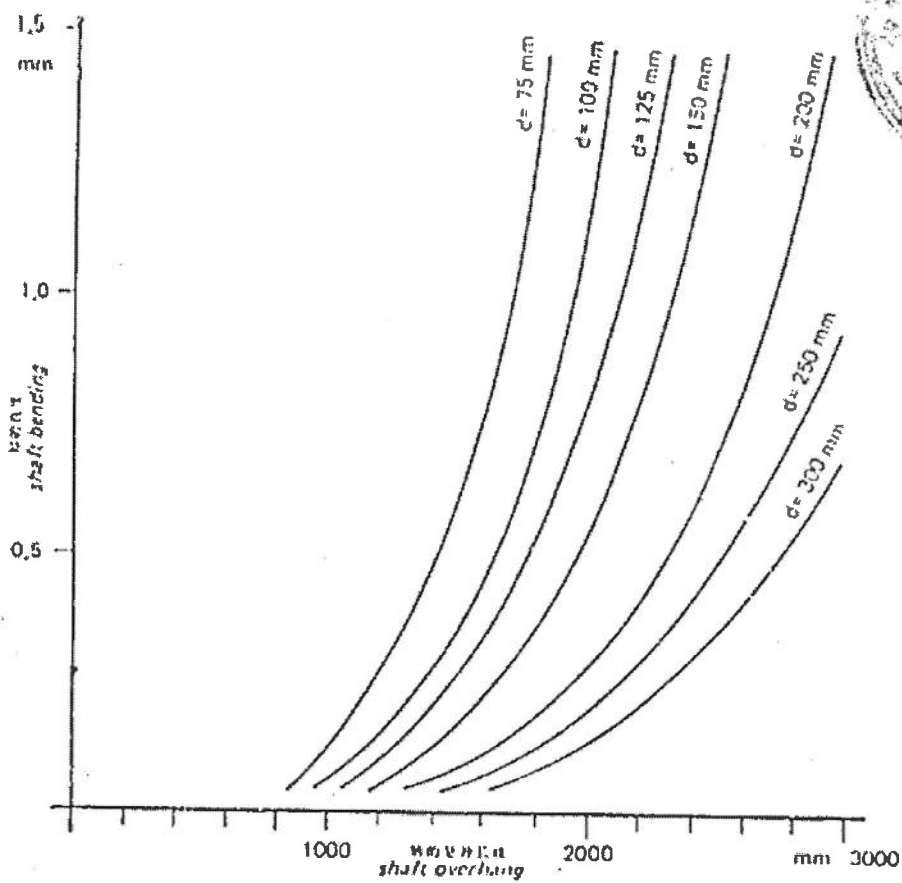
6.4 เกียร์ของเครื่องจักรใหญ่ที่มี Maximum output ตั้งแต่ 1500 กิโลวัตต์ขึ้นไป และมีแบร์ริงรับเพลาสองตัวเดียว การตั้งศูนย์เพลานี้ที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้แบร์ริงของเกียร์หมดอายุเร็วกว่าที่ควร ดังนั้นจะต้องทำการคำนวณค่าแรงกดบนแบร์ริงของทั้งแบร์ริงรับเพลาสองตัวและแบร์ริงทั้งสองของเกียร์ ส่วนการคำนวณ ให้ดูผนวก ข. เนื่องจากในขั้นการติดตั้ง จะต้องใช้ที่รองรับชั่วคราวรับที่ปลายเพลานี้ในขั้นการคำนวณจึงควรกำหนดตำแหน่งทั้งแนวระดับและแนวตั้งของที่รองรับชั่วคราวไว้ในแบบการติดตั้ง เพื่ออำนวยความสะดวกแก่โรงงานติดตั้ง และควรให้ข้อมูลเอาไว้ว่า ถ้าติดตั้งเกียร์ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว (และยังมิได้ถอดถอนที่รองรับปลายเพลาชั่วคราวออก) ควรจะวัดค่า GAP และค่า SAG ระหว่างหน้าแปลนเพลากับหน้าแปลนเกียร์ได้เท่าไร

6.5 กรณีเกียร์ของเครื่องจักรใหญ่ที่มี Maximum power ตั้งแต่ 1500 กิโลวัตต์ขึ้นไป และมีแบร์ริงรับเพลาสองตัวขึ้นไป ให้สอบระยะตกของหน้าแปลนเพลาดำตามรูปที่ 6 ตามปกติแล้วสามารถประมาณระยะตกได้จากกราฟในรูปที่ 7 หรือคำนวณได้จากสูตรในรูปที่ 8

รูปที่ 6 ระยะตกของหน้าแปลน

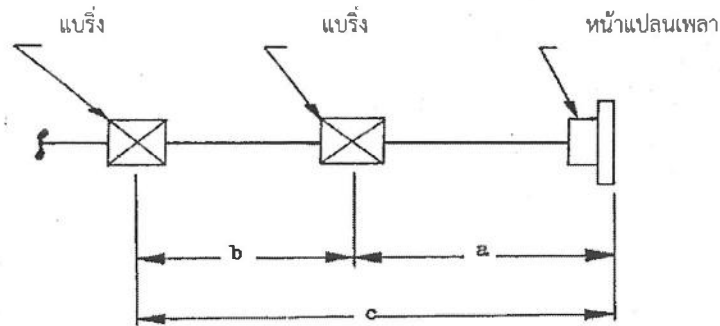


ระยะตกของปลายเพลลา



ระยะยื่นปลายเพลลา

รูปที่ 7 กราฟแสดงระยะตกของหน้าแปลน



$$\frac{\Delta}{A} \leq 0.0003$$

Δ = ระยะตกของหน้าแปลนเพลลา

A = ความยาวเพลลาทั้งท่อน

$$\Delta = \frac{W_L a}{24EI} (3a^3 + 4a^2 b - b^3) + \frac{Pa^2}{3EI} (b + a)$$

W = การเปลี่ยนน้ำหนักต่อหน่วยความยาวของเพลลา (กิโลกรัม/ชม.)

P = น้ำหนักของหน้าแปลน (กิโลกรัม)

I = Moment of Inertia ของรูปหน้าตัดเพลลา (ชม.⁴)

E = ค่า Young Modulus ของเพลลา (กิโลกรัม/ชม.²)

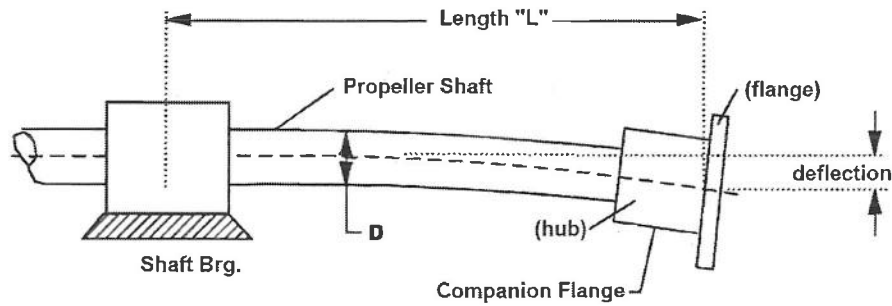
a, b และ c = ระยะทางตามรูป

รูปที่ 8 สูตรสำหรับคำนวณระยะตกของหน้าแปลนเพลลา

ในกรณีที่พบว่าระยะตกมีค่าน้อยมากให้เข้าไปปฏิบัติตามขั้นตอนในวรรคที่ 3 ถ้าระยะตกมีค่ามากให้แก่โดยการยกหน้าแปลนขึ้นจนกระทั่งจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเพลลาอยู่บนเส้นตรงเดียวกับแนวเพลลา (คือเส้นตรงที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของแบริ่งทั้งสอง) โดยมีวิธีการหาระยะตกดังนี้

การหาระยะตกของปลายเพลลา (Propeller Shaft Drop)

การตกท้องข้างหรือการแอ่นของเพลลา (Shaft Deflection) สามารถเกิดขึ้นได้ในหลายกรณีโดยความสัมพันธ์กับตำแหน่งและจำนวนการรองรับเพลลาและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเพลลา การตกท้องข้างหรือแอ่นของเพลลาจะมีผลโดยตรงต่อการหาศูนย์ระบบเพลลา โดยหากไม่ได้คำนึงถึงก็จะทำให้การหาศูนย์เพลลา มีความคลาดเคลื่อนได้ (Misalignment) ในกรณีที่มีการคำนวณผลกระทบของการตกท้องข้างหรือแอ่นของเพลลาเพื่อใช้ในการต่อเพลลาหรือคัปปลิง (Coupling) ในขณะที่เพลลาตกท้องข้างหรือแอ่นอยู่ เมื่อทำการต่อเพลลาหรือคัปปลิงแล้วเสร็จศูนย์ของระบบเพลลาก็จะอยู่ในแนวออกแบบ แต่หากจำเป็นต้องทำการหาศูนย์ระบบเพลลา โดยที่ไม่มีข้อมูลการคำนวณผลกระทบการตกท้องข้างของเพลลาหรือการแอ่นของเพลลาผู้ปฏิบัติงานสามารถดำเนินการด้วยการยกเพลลาให้เข้าตำแหน่งออกแบบ การดำเนินการในลักษณะนี้มีปรากฏในงานซ่อมทำ โดยเฉพาะการตกของปลายเพลลาที่ยื่นออกมาจากตำแหน่งรองรับเพลลา การตกท้องข้างหรือการแอ่นของปลายเพลลาในลักษณะนี้จะขอเรียกว่า “การตกของปลายเพลลา” เพื่อความกระชับในการกล่าวถึงต่อไป

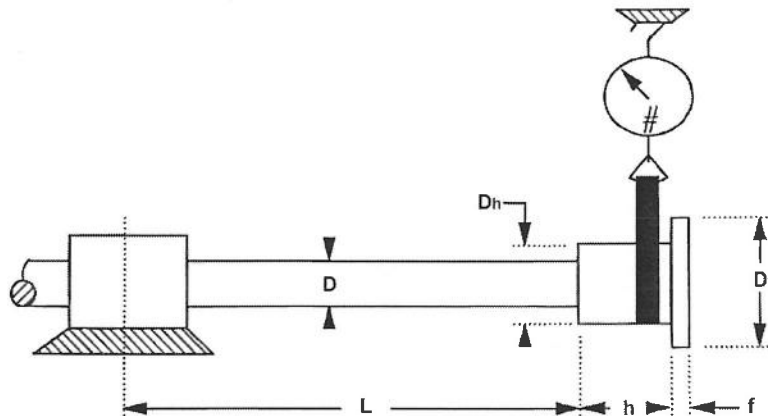


รูปที่ 9 ระยะการตกของปลายเพลลา (Deflection)

ระยะการตกของปลายเพลลา (Deflection, รูปที่ 9) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนน้ำหนักต่อความยาวของเพลลา ดังนั้นระยะตกของปลายเพลลาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพลลายื่นออกมาจากตำแหน่งรองรับเพลลามากขึ้น (ตำแหน่งรองรับเพลลาโดยทั่วไปคือ แบร็งก์รับเพลลา) การแก้ไขระยะตกของปลายเพลลา คือ การยกปลายเพลลาให้กลับเข้าสู่แนวเพลลาออกแบบ

การแก้ไขระยะตกของปลายเพลลานี้มีดำเนินการได้ใน 2 ลักษณะ คือ

- 1) การพิจารณาจากตารางที่ได้มีการคำนวณระยะการตกตามการแปรผันตัวแปรต่าง ๆ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ความยาวของปลายเพลลาที่ยื่นออกจากตำแหน่งรองรับ น้ำหนักเพลลาต่อความยาวเพลลา
- 2) การคำนวณระยะยกของปลายเพลลา ในส่วนนี้จะขอกกล่าวตามวิธีที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากมีความอ่อนตัวในการนำไปใช้งานทั้งในกรณีที่ปลายเพลลาเปล่าหรือปลายเพลลาที่มีหน้าแปลนติดตั้งอยู่



รูปที่ 10 การยกเพื่อแก้ไขระยะตกปลายเพลลา

แนวคิดในการคำนวณระยะตกของปลายเพลลา คือ การยกปลายเพลลาด้วยตาชั่ง (Scale) ด้วยน้ำหนักของ *ครึ่งหนึ่ง* ของน้ำหนักปลายเพลลาที่ยื่นออกมาจากตำแหน่งรองรับและน้ำหนักทั้งหมดของหน้าแปลนหรืออุปกรณ์ก่อนที่ฝาอกอยู่ที่ปลายเพลลา การยกเพื่อแก้ไขระยะตกปลายเพลลา (รูปที่ 10) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

$$\text{น้ำหนักที่ใช้ในการยก} = \text{ความหนาแน่นของวัสดุ} \times \text{พื้นที่หน้าตัดเพลลา} \times \text{ความยาวเพลลา} \quad --(1)$$

ตัวอย่าง

กำหนดให้เพลาลูกและหน้าแปลนเหล็ก (ความหนาแน่น $7,850 \text{ kg/m}^3$) มีขนาดดังนี้

$$L = 5 \text{ m}$$

$$D = 0.2 \text{ m}$$

$$h = 0.3 \text{ m}$$

$$D_h = 0.3 \text{ m}$$

$$f = 0.08 \text{ m}$$

$$D_f = 0.5 \text{ m}$$

น้ำหนักที่ต้องทำการยกปลายเพลาลูกเพื่อแก้ระยะตกปลายเพลาลูกคำนวณได้จาก

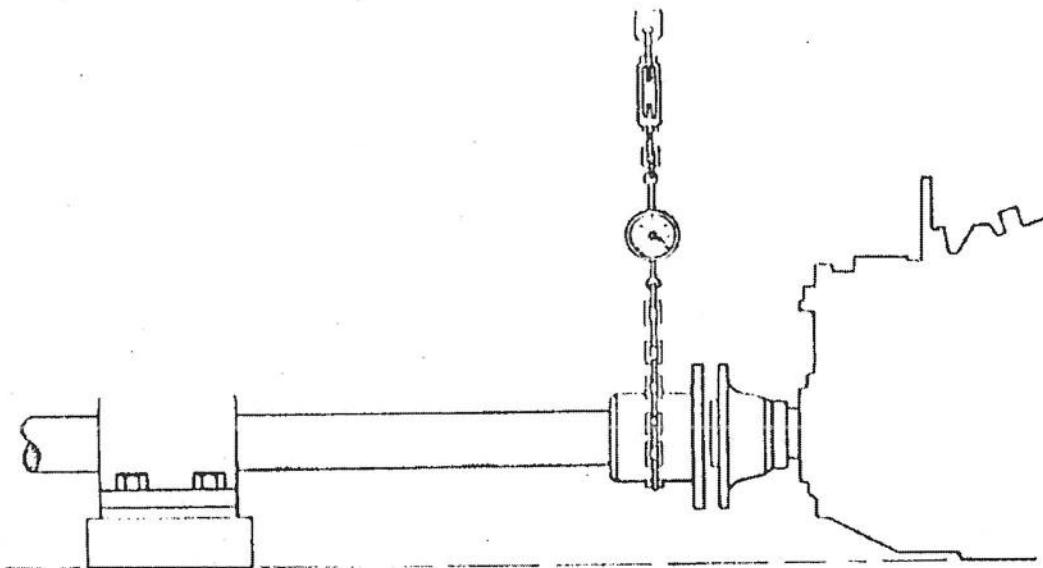
$$\text{Shaft weight} = \left(\frac{7850}{2} \right) \times \left(\frac{\pi \times 0.2^2}{4} \right) \times 5 = 616.53 \text{ kg}$$

$$\text{Companion flange} = (7850) \times \left(\frac{\pi \times 0.3^2}{4} \right) \times 0.3 = 166.46 \text{ kg}$$

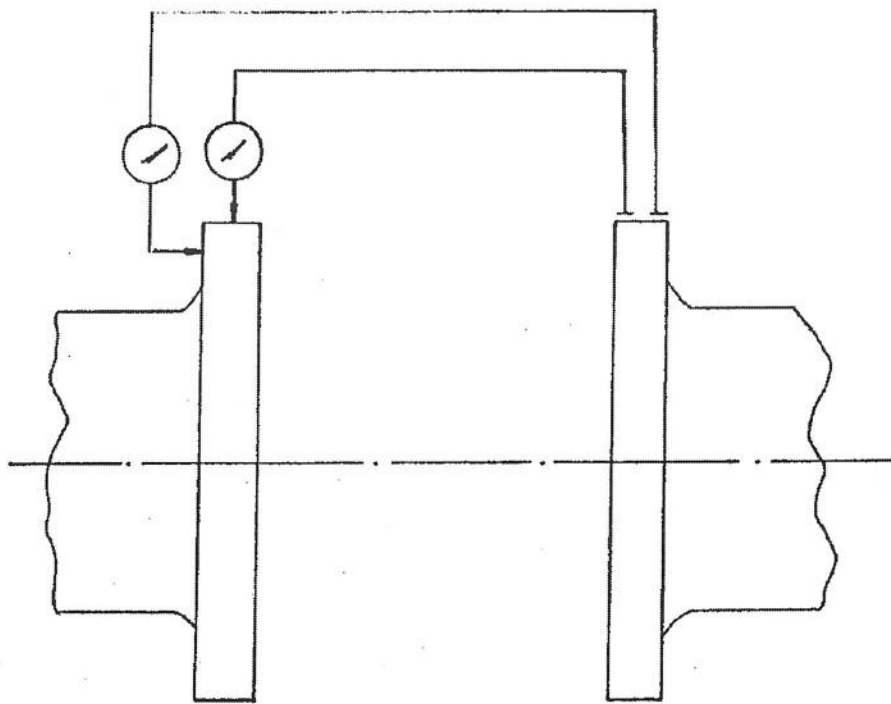
$$\text{Flange} = (7850) \times \left(\frac{\pi \times 0.5^2}{4} \right) \times 0.08 = 123.30 \text{ kg}$$

$$\text{น้ำหนักที่ต้องทำการยกปลายเพลาลูก} = 616.53 + 166.46 + 123.3 \text{ kg} = 906.9 \text{ kg}$$

จากนั้นใช้ตาชั่งแบบแขวนรับน้ำหนักเพลาลูกด้านหน้าแปลนไว้ดังรูปที่ 10.1 คำนวณน้ำหนักเพลาลูกส่วนที่ตกแล้วหารด้วย 2 แล้วยกเพลาลูกขึ้นจนตาชั่งอ่านค่าได้เท่ากับที่คำนวณไว้หรือใช้ไดแออลินดิเคเตอร์ 2 ตัว ตามรูปที่ 10.2 วางไดแออลินดิเคเตอร์อีกตัวหนึ่งไว้ด้านบนของหน้าแปลนเพลาลูก ค่อยๆ ยกปลายเพลาลูกขึ้นทีละน้อยๆ จนไดแออลินดิเคเตอร์ตัวแรกที่ไถลกับแปรงรับเพลาลูกอ่านค่าได้ประมาณ 0.025 มม. ถึง 0.04 มม. จึงหยุด จากนั้นให้อ่านค่าไดแออลินดิเคเตอร์ที่อยู่ด้านบนของหน้าแปลนเพลาลูกแล้วค่อยๆ ลดปลายเพลาลูกลงจนค่าที่ไดแออลินดิเคเตอร์ด้านบนของหน้าแปลนเพลาลูกลดลงเหลือครึ่งเดียวของค่าที่อ่านครั้งแรก



รูปที่ 10.1 การใช้ตาชั่งยกปลายเพลาลูกเพื่อแก้ระยะตก



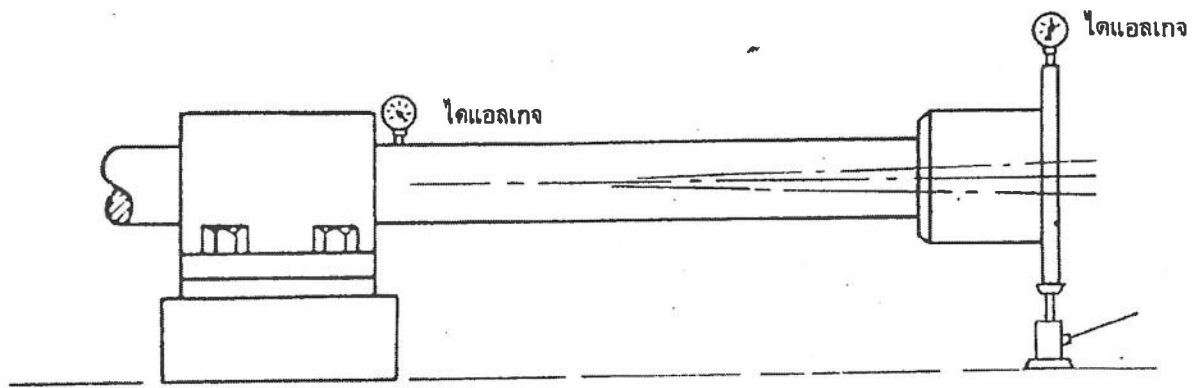
รูปที่ 10.2 การกระเษะตกลายเพลาด้วยไดแอลอินดิเคเตอร์

เลื่อนเกียร์เข้าหาหน้าแปลนเพลลา โดยพยายามให้หน้าแปลนเกียร์สูงเท่ากับหน้าแปลนเพลลาและให้หน้าแปลนทั้งสองขนานกัน โดยใช้การตรวจสอบตามข้อ 6.8

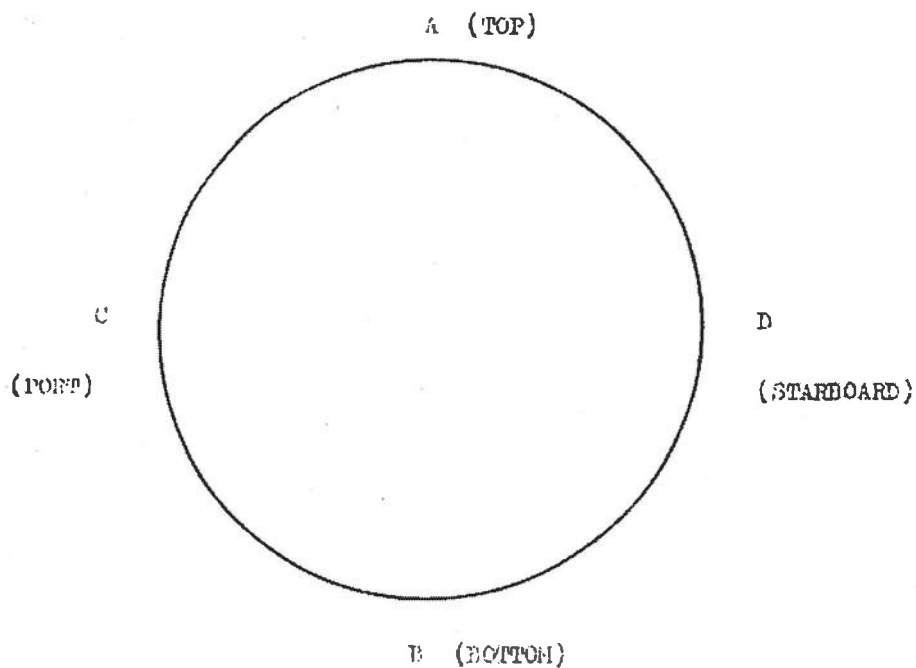
6.6 กรณีเกียร์ของเครื่องจักรใหญ่ที่มี Maximum output ตั้งแต่ 3000 KW ขึ้นไป จะต้องทำการคำนวณหาค่าแรงกดบนแบร็ง และความเค้นในเนื้อโลหะของเพลลา ตามรายละเอียดในผนวก ข. เสียก่อน การคำนวณจะกำหนดตำแหน่งสัมพันธ์ระหว่างหน้าแปลนของเพลลาไบจอร์และหน้าแปลนของเกียร์ในรูป GAP และ SAG จะต้องปรับตำแหน่งของเกียร์ด้วย Adjusting Screw จนกระทั่งค่า GAP และค่า SAG มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด โดยใช้วิธีการตรวจสอบตามข้อ 6.8

6.7 เกียร์ขนาดใหญ่ที่มีแบร็งรับเพลลาของเกียร์มีการเปลี่ยนตำแหน่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนั้น จะต้องนำตัวเลขการขยับตัวของแบร็งมาแก้ในทิศทางตรงกันข้ามในขณะตั้งศูนย์ เพื่อให้เมื่ออุณหภูมิสูงถึงจุดใช้งานแล้ว ศูนย์ของเกียร์จะอยู่ในตำแหน่งถูกต้องที่ต้องการ

6.8 ตำแหน่งของเกียร์โดยใช้หน้าแปลนเพลลาเป็นจุดอ้างอิงสามารถตรวจสอบได้ด้วยการวัดค่า GAP และค่า SAG ระหว่างหน้าแปลนของเกียร์และหน้าแปลนของเพลลา โดยใช้ไดแอลอินดิเคเตอร์สองตัวตามที่แสดงในรูปที่ 11 การวัดค่า SAG และค่า GAP จะกระทำโดยการหมุนหน้าแปลนเกียร์และจดค่าของไดแอลอินดิเคเตอร์ทุกๆ 90 องศา ของหน้าแปลนตามรูปที่ 12



รูปที่ 11 การวัดระยะ GAP และ SAG ด้วยไดอัลอินดิเคเตอร์ 2 ตัว



รูปที่ 12 การบันทึกค่า GAP หรือค่า SAG ที่ทุกๆ 90 องศา

6.8.1 การตรวจสอบค่า SAG

ทางตั้ง

พิจารณาตัวเลขผลต่างระหว่างจุด A และจุด B โดยครึ่งหนึ่งของตัวเลขผลต่างดังกล่าว จะต้องต่างจากค่า SAG ของหน้าแปลนจากการคำนวณไม่เกินกว่า 0.13 มม.

ทางข้าง

ครึ่งหนึ่งของผลต่างระหว่างจุด C และจุด D และระยะเพื่อแบร์ริงเกียร์ขยายตัวทางข้างเมื่อร้อน ต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 0.13 มม.

6.8.2 การตรวจสอบค่า GAP

ทางตั้ง

หาผลต่างระหว่างจุด A และจุด B แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า GAP จากการคำนวณค่าทั้งสองจะต้องไม่ต่างกันเกิน 0.13 มม. ต่อ 1 มม.ของเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน

ทางข้าง

หาผลต่างระหว่างจุด C และ D ต้องไม่เกิน 0.13 มม. ต่อ 1 มม.ของเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน

6.9 การติดตั้งเกียร์ให้ข้อมูลจากมาตรฐานงานช่างกรรมอยู่ทหารเรือ เรื่อง การติดตั้งเครื่องจักรสำคัญบนเรือ และเมื่อลวดสลักยึดเกียร์เข้ากับแท่นแล้วให้ตรวจสอบค่า GAP และค่า SAG ว่ายังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้หรือไม่

6.10 เลื่อนเพลลาไปข้างหน้าจนกระทั่งหน้าแปลนเพลลาชนกับหน้าแปลนเกียร์ เพื่อกวดสลักยึดหน้าแปลน ซึ่งควรเป็นเหล็กที่คุณภาพไม่น้อยกว่าระดับ 8.8 (มีกำลังรับแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ 800 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) สลักจะต้องมีขนาดเท่ากับขนาดของรูพอดี้ การกวดจะต้องใช้แรงบิดตามที่ระบุในคู่มือซ่อมเกียร์ในโรงงานหรือ กวดให้มีความเค้นในสลักไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของกำลังคลาด (Yield Strength) ของวัสดุทำสลัก

อีกวิธีหนึ่งคือใช้ FIT BOLT และขยายรูของหน้าแปลนทั้งสองพร้อมกันด้วยวิธี Reaming ในกรณีนี้ใช้ สลักที่มีกำลังรับแรงดึงระหว่าง 750 – 900 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

6.11 จนท.ควบคุมคุณภาพเป็นผู้ตรวจสอบค่า GAP ค่า SAG และความเรียบร้อยของการติดตั้งเกียร์ร่วมกับ จนท.ของโรงงานติดตั้งเครื่องกล

7. ขั้นตอนการตั้งศูนย์เครื่องจักรใหญ่

7.1 ทัวไป

- การตั้งศูนย์เครื่องจักรใหญ่ กระทำโดยเลื่อนเครื่องจักรใหญ่เข้าหาเกียร์ โดยใช้หน้าแปลน Input shaft ของเกียร์เป็นจุดอ้างอิง ในทำนองเดียวกันกับการตั้งศูนย์เกียร์ที่ใช้หน้าแปลนเพลลาเป็นจุดอ้างอิง

- สภาพเครื่องยนต์จะยังไม่เติมน้ำจืดและน้ำมันหล่อลื่นเข้าในระบบ (เรียกว่า Dry engine) แล้วให้น้ำหนักเครื่องจักรทั้งเครื่องรับไว้ด้วยเกลียวแต่งระดับ (Adjusting screw) ส่วนการแต่งตำแหน่งราบ ให้ใส่ Thrust screw ในลักษณะเดียวกับการตั้งศูนย์เกียร์

7.2 ตัวเลขการตั้งศูนย์

7.2.1 กรณีที่เครื่องยนต์ต่อกับเกียร์โดยใช้ Flexible coupling และเครื่องยนต์รองรับด้วย Shock mount ส่วนเกียร์วางบนแท่นโดยตรง โดยไม่ใช้ Shock mount ให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้

- จุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเครื่องยนต์ต้องสูงกว่าหน้าแปลนของเกียร์เท่ากับระยะ h เพื่อให้เครื่องซึ่งรองรับด้วย Shock mount ทรุดลงมาเท่ากับเกียร์เมื่อเติมน้ำจืดและน้ำมันหล่อลื่นเข้าในระบบ หรือ อีกนัยหนึ่ง

$$h = \frac{\text{นน. น้ำจืด} + \text{นน. น้ำมันหล่อลื่น}}{\text{ค่า STIFFNESS รวมของ SHOCKMOUNT ทั้งหมด}}$$

- หน้าแปลนของเกียร์และเครื่องยนต์ต้องขนานกัน
- ระยะห่างระหว่างหน้าแปลนทั้งสองเท่ากับความยาวของ Coupling + Coupling tolerance (อัตราผิดที่ยอมรับได้สำหรับติดตั้ง Flexible coupling)
- การตรวจสอบศูนย์ คงใช้เทคนิคเดียวกับการตั้งศูนย์เกียร์ตามรายละเอียดในข้อ 7.3

การวัดค่า SAG หรือ Radial offset (ดูรูปที่ 11 และ 12)

ผลต่างของตัวเลขระหว่างจุด A และ B < h + อัตราผิดทางสูง – ค่าที่ยอมรับได้

ผลต่างของตัวเลขระหว่างจุด C และ D < อัตราผิดทางขนานที่ยอมรับได้

หมายเหตุ

1. ค่า h ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ ผู้ติดตั้งจะต้องขอข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักร โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.7 มม.

2. อัตราผิดทางสูง – ค่าที่ยอมรับได้นั้น ผู้ติดตั้งต้องได้รับข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตโดยปกติจะมีค่าระหว่าง 0.1 – 0.2 มม.

3. ค่าอัตราผิดทางขนานที่ยอมรับได้ ผู้ติดตั้งต้องได้รับข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต โดยปกติจะมีค่าระหว่าง 0.02 มม. ถึง 0.07 มม. ต่อทุก 100 มม.ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน

7.2.2 กรณีที่เกียร์เป็นชนิด Flange on เข้ากับเครื่องจักร ซึ่งวางอยู่บนรางอันเดียวกันและมี Shock mount รับน้ำหนักได้ราง จะต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เกียร์ต้องไม่มีน้ำมันไฮดรอลิก

- ต้องตั้งศูนย์ให้จุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเกียร์สูงกว่าจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนเพลาน้ำหนัก h โดยที่

$$h = \frac{\text{นน. น้ำหนักในเครื่องยนต์} + \text{นน. นมล. ในเครื่องจักร} + \text{นน. น้ำมันไฮดรอลิกในเกียร์}}{\text{ค่า STIFFNESS รวมของ SHOCKMOUNT ทั้งหมด}}$$

- ค่าอัตราผิดทางสูง – ค่า และอัตราผิดทางขนานที่ยอมรับได้ระหว่างหน้าแปลนเครื่องจักรและหน้าแปลนเกียร์ ถ้าไม่สามารถหาข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตได้ ให้เป็นไปตามหมายเหตุในข้อ 7.2.1

7.2.3 เครื่องยนต์แยกจากเกียร์ต่อกันด้วย Flexible coupling ทั้งเครื่องยนต์และเกียร์วางกับแท่นโดยไม่ใช่ Shock mount จะต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

- ระยะ h = 0

- ต้องได้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตเกี่ยวกับค่าอัตราผิดทางสูง – ค่า และอัตราผิดทางขนานที่ยอมรับได้ ถ้าไม่มีข้อมูลให้ใช้ตัวเลขต่อไปนี้

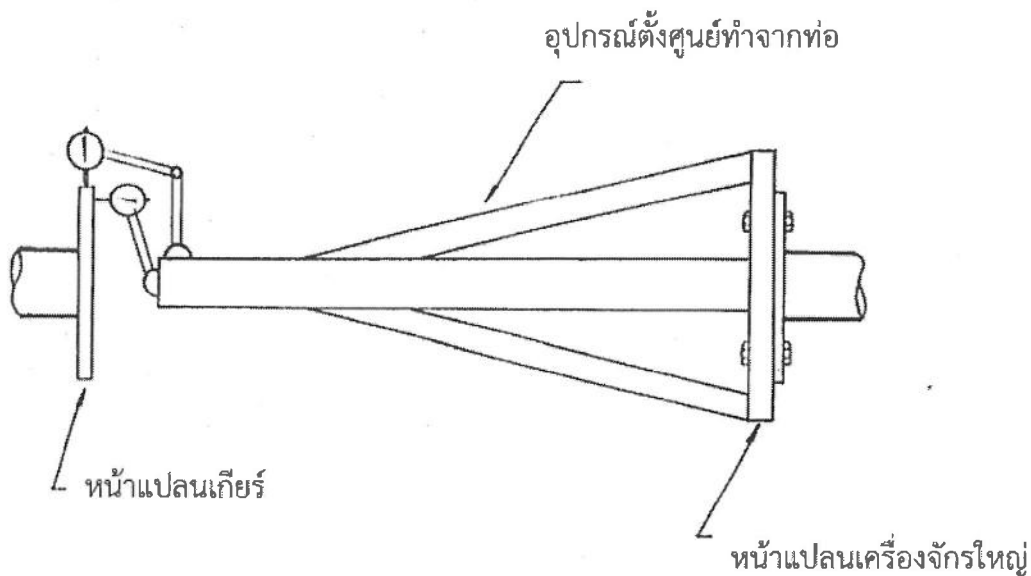
อัตราผิดทางสูง – ค่า ใช้เท่ากับกรณีข้อ 7.2.1

อัตราผิดทางขนาน ใช้ค่าเป็นครึ่งหนึ่งของกรณีข้อ 7.2.1

7.2.4 กรณีไม่ใช่ตัวเลขการตั้งศูนย์ให้เพิ่มน้ำหนักของตัวเครื่องยนต์และชุดเกียร์โดยใช้หุ่นน้ำหนักภายนอกที่เท่ากับน้ำหนักของน้ำและน้ำมันหล่อที่ใช้นในเครื่องยนต์เพิ่มเข้าไปก่อนที่จะทำการตั้งศูนย์ โดยเพิ่มน้ำหนักดังกล่าวไว้ให้ Shockmount รับน้ำหนักทั้งหมดและยุบตัวลงให้อยู่ในสภาพตามธรรมชาติก่อนทำการตั้งศูนย์

7.3 การตรวจสอบตัวเลขการตั้งศูนย์

การตรวจสอบศูนย์คงกระทำในลักษณะเดียวกับการตั้งศูนย์เกียร์คือ ใช้ไดแอลอินดิเคเตอร์จำนวน 2 เครื่อง แต่เนื่องจากหน้าแปลนเกียร์และหน้าแปลนเครื่องยนต์อยู่ห่างกันพอสมควร จึงต้องใช้อุปกรณ์พิเศษสำหรับติดตั้งไดแอลอินดิเคเตอร์ ตามที่แสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การตรวจสอบศูนย์ระหว่างเครื่องจักรใหญ่และเกียร์

7.4 การยวบตัวของ Shockmount

เมื่อเติมน้ำจืดและน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในระบบของเครื่องจักรใหญ่และเติมน้ำมันไฮดรอลิกเข้าไปในระบบของเกียร์ Shockmount จะต้องหดตัวจนทำให้ค่า h เท่ากับศูนย์ ก่อนติดตั้ง Flexible coupling ควรตรวจสอบตัวเลข GAP และ SAG อีกครั้ง หากยังมีอัตราผิดอยู่จะต้องทำการแก้ไขให้มีค่าอย่างน้อยที่สุดน้อยกว่าอัตราผิดที่ยอมรับได้ของ Flexible coupling (หรือ coupling tolerance)

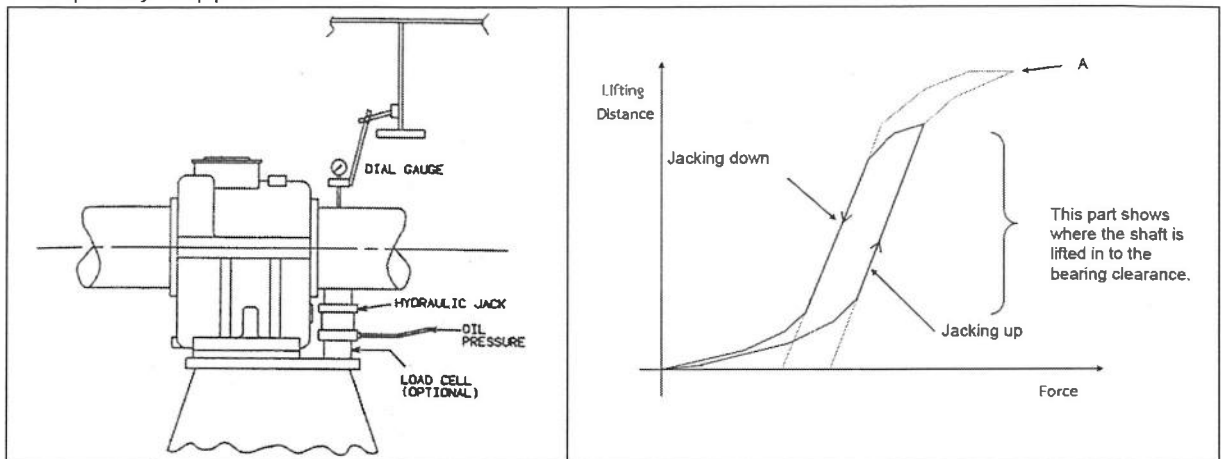
8. การตรวจสอบศูนย์เพลลาใบจักรด้วยเทคนิคพิเศษ

การตรวจสอบศูนย์เพลลาใบจักรสามารถกระทำได้โดยไม่ต้องชักเพลลา แต่ทั้งนี้จะต้องใช้เทคนิคพิเศษ นอกเหนือจากการตรวจสอบค่า GAP และ SAG ดังที่ได้กล่าวในข้างต้น เทคนิคพิเศษสำหรับการตรวจสอบศูนย์เพลลาใบจักรประกอบด้วย การวัดโมเมนต์ดัดของเพลลาด้วย Strain gage และการวัดแรงปฏิกิริยาของแบร็ง (แรงที่เพลลาใบจักรกระทำบนแบร็ง) แต่ด้วยหลักนิยตามสถาบันจัดชั้นเรือ (Classification Society) ในการตรวจสอบศูนย์เพลลา และข้อกำหนดของผู้ผลิตและออกแบบระบบเพลลาใบจักร การวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็งได้รับการพิจารณาให้ใช้อย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงได้พิจารณาให้การตรวจสอบศูนย์เพลลาด้วยการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็งเป็นอีกทางเลือกที่สามารถใช้ในการตรวจสอบศูนย์เพลลาได้ตามความเหมาะสม โดยในเนื้อหาส่วนต่อไป จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นขั้นต้น ก่อนจะกล่าวถึงขั้นตอนของการดำเนินการต่อไป

8.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็ง (Bearing Load)

การวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็งก็คือการหาว่าแรงที่เพลลาใบจักรกดลง ณ ตำแหน่งแบร็งรับเพลลา มีขนาดเท่าไร ซึ่งปกติก็จะพิจารณาเฉพาะที่แบร็งรับเพลลาในเรือเท่านั้น (แบร็งรับเพลลา ณ ตำแหน่งกระบอกดีฟูดถึงตำแหน่งของเกียร์หรือเครื่องยนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดวางระบบขับเคลื่อนของเรือนั้น ๆ) เนื่องจากการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็งไม่สามารถกระทำได้โดยตรงที่ตำแหน่งแบร็งเพราะข้อจำกัดของพื้นที่และเครื่องมือวัด (ไม่ได้มีการชักเพลลาใบจักร) ดังนั้นการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็งจึงกระทำได้ด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์ของระยะยกของเพลลาใบจักร ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับแบร็งเท่าที่กระทำได้ กับแรงที่ใช้ในการยกเพลลาใบจักร ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 14 ด้านซ้ายมือ ซึ่งหากทางผู้ออกแบบระบบเพลลาใบจักรได้พิจารณาให้ใช้

วิธีการวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริงในการตรวจสอบศูนย์ผู้ผลิตก็อาจออกแบบให้ฐานแท่นมีพื้นที่ในการดำเนินการ แต่หากไม่มีการเตรียมพื้นที่ของฐานแท่นผู้ดำเนินการวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริงก็จำเป็นจะต้องสร้างฐานชั่วคราว (Temporary Support)

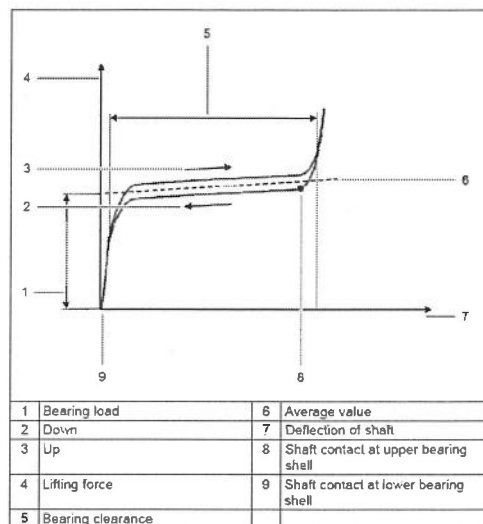


รูปที่ 14 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการ Jack Up และกราฟของ Jack Up

การวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริงสามารถดำเนินการได้ใน 2 ลักษณะ คือ การยกเพลลาโดยใช้ Hydraulic Jack แล้วคำนวณแรงยกจากกำลังดันตามความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ และการยกเพลลาโดยใช้ Hydraulic Jack ร่วมกับ Load Cell เพื่อทำการวัดแรงยกได้โดยตรง ส่วนการวัดระยะยกของเพลลาที่ใช้ Dial Gauge ในการวัด โดยควรติดตั้ง Dial Gauge ในตำแหน่งที่มั่นคงและต้องไม่ได้รับผลกระทบจากการยกตัวของเพลลา ในการวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริงจะต้องมีการวัดระยะยกของเพลลาและแรงที่ใช้ยกทั้งในขณะทำการยกเพลลาขึ้นและปล่อยเพลลาลงนึ่งที่แท้จริงทั้งนี้เพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนในการวัดอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของระบบไฮดรอลิก ด้วยผลของแรงเสียดทานที่ต้านการเคลื่อนที่ทำให้ระยะยกของเพลลาใบจักรที่เท่ากันมีขนาดของแรงที่ใช้ยกต่างกัน โดยแรงที่ใช้ในระหว่างการยกเพลลาขึ้นจะมีค่ามากกว่าแรงที่ใช้ในระหว่างการปล่อยเพลลาลง ดังแสดงในรูปที่ 14 ขวา (เหมือนกับ Hysteresis Loop ของอิทธิพลของแม่เหล็ก) ทั้งนี้หากใช้ Load Cell ร่วมในการวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริงก็จะทำให้ความแตกต่างระหว่างกราฟในการยกเพลลาและปล่อยเพลลามีความแตกต่างที่น้อยลง ทั้งนี้เพราะอิทธิพลของแรงเสียดทานในระบบไฮดรอลิกจะถูกตัดออกไป และเพื่อให้ความกว้างของความแตกต่างระหว่างการยกและการปล่อยเพลลามีน้อยลง การวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริงควรต้องมีการทำ Pre-Jack Up หรือก็คือการยกเพลลาใบจักรขึ้นลงตามระยะของ Bearing Clearance ก่อนทำการวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานของระบบเพลลาใบจักร จากรูปที่ 14 ขวา สามารถแบ่งกราฟได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่แท้จริงยังรับน้ำหนักเพลลาอยู่ โดยหลังจากที่มีการเริ่ม Jack Up ขนาดของแรงยกจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ระยะยกมีการเพิ่มเพียงเล็กน้อย และเมื่อทำการเพิ่มแรงยกขึ้นอีกจนเพลลาเริ่มลอยตัวจากแท้จริงก็จะเข้าสู่ช่วงที่เพลลาลอยตัว กราฟในช่วงนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงแรกอย่างชัดเจนโดยความสัมพันธ์ของแรงที่เพิ่มกับระยะยกจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) เมื่อเพลลาถูกยกตัวเพิ่มจนกระทั่งด้านบนของเพลลาแตะกับแท้จริงด้านบนกราฟก็จะเข้าสู่ช่วงที่สาม กราฟในช่วงนี้ระยะยกจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่แรงที่ใช้ในการยกจะเพิ่มขึ้นมากซึ่งทำให้ความชันของกราฟลดลงอีกครั้งหนึ่ง และเมื่อเริ่มทำการลดแรงในการยกกราฟก็จะเริ่มย้อนกลับแต่จะไม่อยู่ในแนวเดิมเนื่องจาก Hysteresis Loop ดังที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยตำแหน่ง A ในรูปที่ 14 ขวา เป็นตำแหน่งสูงสุดก่อนการปล่อยเพลลาลงซึ่งกราฟขาปล่อยเพลลาลงก็จะมีรูปแบบที่คล้ายกับกราฟในขายกเพลลาขึ้น

การพิจารณาแรงปฏิกิริยาที่แท้จริง ในขั้นแรกจะต้องทำการลากเส้นตรงหาบนกราฟในช่วงการยกเพลลาขึ้นและการปล่อยเพลลาลง ซึ่งต้องพิจารณาในช่วงที่สองหรือช่วงที่มีความชันสูงสุดของกราฟ

ความสัมพันธ์แรงยกกับระยะยก จากนั้นให้ลากเส้นตรงเพื่อแสดงค่าเฉลี่ยระหว่างเส้นตรงสองเส้นก่อนหน้านี้ โดยให้เส้นตรงที่ลากขึ้นตัดกับแกน X (ระยะยกเป็นศูนย์) ณ ตำแหน่งจุดตัดที่แกน X จะแสดงค่าของแรงปฏิกิริยา ทั้งนี้การกำหนดระบบ Coordinate ในการพล็อตกราฟอาจมีความแตกต่างกันไป โดยสามารถกำหนดให้แกน X เป็นระยะยกตัวของเพลลา ส่วนแกน Y เป็นแรงยกที่สัมพันธ์กับระยะยกก็ได้ (รูปที่ 15) แต่วิธีการพิจารณาแรงปฏิกิริยาที่แบริงก็ยังคงเดิม นอกจากนี้ข้อมูลจากการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบริงอาจไม่สามารถพล็อตกราฟได้ตามรูปแบบ Hysteresis Loop ซึ่งอาจเป็นเพราะผลของแรงเสียดทานในระบบเพลลาหรือระบบไฮดรอลิกที่มากเกินไป โดยหากเกิดกรณีดังกล่าวนี้การพิจารณาค่าแรงปฏิกิริยาที่แบริง ให้พิจารณาจากกราฟเส้นขณะทำการยกเพลลาขึ้นเป็นหลัก



รูปที่ 15 รูปแบบการพล็อตกราฟ Jack Up จากบริษัท RENK

8.2 การพิจารณาผลของค่าแรงปฏิกิริยา

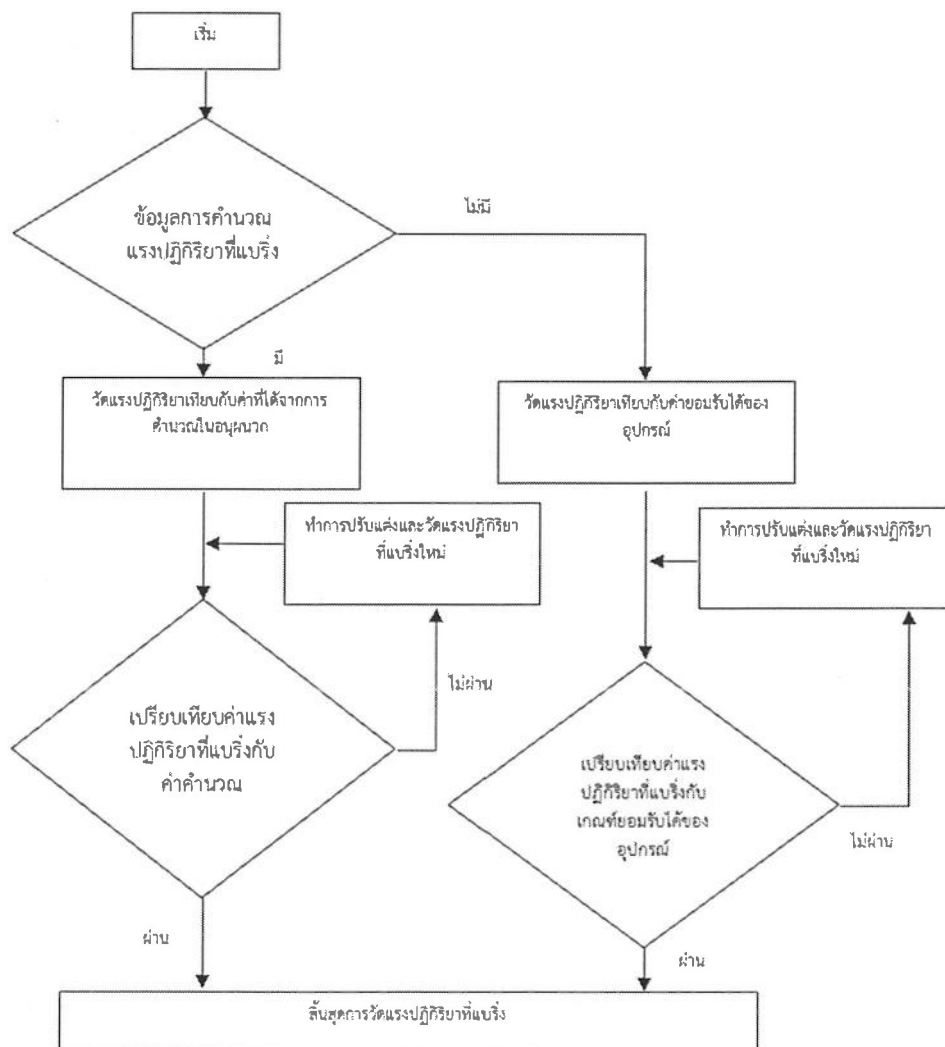
การพิจารณาค่าแรงปฏิกิริยาที่แบริง จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับค่าแรงที่เกิดขึ้นกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมใน ผผนวก ข โดยผู้ออกแบบระบบเพลลาจะมีการคำนวณแรงปฏิกิริยาเพื่อกำหนดคุณสมบัติของแบริงรับเพลลา ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งค่าที่คำนวณไว้นี้ก็จะเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบศูนย์ของระบบเพลลาได้ เกณฑ์ของค่ายอมรับได้สำหรับแรงปฏิกิริยาที่แบริงอยู่ในช่วง $\pm 20\%$ ของค่าที่ได้จากการคำนวณ ในกรณีของเรือต่อใหม่ผู้ออกแบบระบบเพลลาใบจักรอาจมีทั้งการคำนวณการจัดเรียงอุปกรณ์ (Propulsion Arrangement) และการคำนวณค่าศูนย์เพลลาในขั้นตอนของการติดตั้งซึ่งอาจหมายรวมถึงตั้งแต่ Shaft Insert, Pre-Alignment และ Final-Alignment โดยในขั้นตอนของ Final-Alignment ก็ยังอาจแบ่งย่อยลงไปอีกตามสภาพการดำเนินการ อาทิเช่น ในสภาพ Cold Static Condition และ Warm Static Condition ดังนั้นผู้ที่ทำการวัดแรงปฏิกิริยาจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลการคำนวณมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง

นอกจากนี้ ทางสถาบันจัดชั้นเรือก็ยังได้มีการกำหนดค่าแรงกระทำสูงสุดที่แบริงเพื่อป้องกันความเสียหายต่อแบริงโดยกำหนดเป็นค่าแรงกระทำต่อพื้นที่ภาพฉายของแบริง (สมการ (1) ใช้คำนวณแรงกดสูงสุดที่แบริงในหน่วยกำลังตัน [2]) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความยาวของแบริงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลา ทั้งนี้จะแตกต่างกันตามประเภทและวัสดุของแบริง ตัวอย่างเช่น Lloyd's Register of Shipping [1] ได้แนะนำคุณสมบัติของแบริงรับเพลลาสำหรับเรือรบ โดยหากเป็นแบริงที่หล่อลื่นด้วยน้ำ (Lubricated Bearing) และทำจากพลาสติกอุตสาหกรรมโดยไม่มีร่องน้ำที่แบริงด้านล่าง ความยาวของแบริงประเภทนี้ต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่า

ของเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา โดยแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อแบร้งต้องไม่เกิน 0.55N/mm^2 (0.55MPa) แต่ถ้าหากเป็นแบร้งที่หล่อลื่นด้วยน้ำมัน (Oil Lubrication) ประเภท White-Metal ความยาวของแบร้งประเภทนี้ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา แรงกดสูงสุดที่กระทำต่อแบร้งต้องไม่เกิน 0.8N/mm^2 (0.8MPa)

$$\text{Max Adissible Pressure} = \frac{\text{Bearing Load (N)}}{\text{Bearing Length(m)} \times \text{Shaft Diameter(m)}} \quad \text{สมการ (1)}$$

สำหรับอุปกรณ์ในระบบเพลลาใบจักรที่เกี่ยวข้อง เช่น Plummer Block, Thrust Bearing และ Gear Box ผู้ผลิตก็จะมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่ยอมรับได้ ณ ตำแหน่งแบร้งของอุปกรณ์นั้น ดังนั้นการพิจารณายอมรับค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้ง จึงมีแนวทางในการพิจารณาที่สัมพันธ์กับการคำนวณแรงกระทำของเพลลาและแรงกระทำสูงสุดในแต่ละอุปกรณ์ในระบบเพลลาด้วย ซึ่งหากแรงปฏิกิริยาที่แบร้ง มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของการคำนวณ (+/-20%) แรงปฏิกิริยาที่แบร้งก็พิจารณาได้ว่าผ่านเกณฑ์ค่ายอมรับแรงกระทำสูงสุดของแต่ละอุปกรณ์ แต่หากในกรณีที่ไม่สามารถนำเอาค่าที่คำนวณมาพิจารณากับค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้งได้ ก็ให้ทำการพิจารณาที่ค่ายอมรับได้สูงสุดของแรงกระทำในแต่ละอุปกรณ์ ทั้งนี้หากค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้งมีค่าไม่เกิน 80% ของค่ายอมรับได้ของอุปกรณ์ ก็พิจารณาได้ว่าศูนย์ของระบบเพลลามีการกระจายแรงเหมาะสมและไม่ทำให้แบร้งและอุปกรณ์รับแรงกระทำมากเกินไปเกณฑ์ ขั้นตอนของการพิจารณาสามารถแสดงได้ในแผนผังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แผนผังการพิจารณา Bearing Load

8.3 ขั้นตอนการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบริง

ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้วว่าการที่ใช้ผลของการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบริงสำหรับการตรวจสอบศูนย์เพลานั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลการคำนวณหรือข้อมูลของแรงกดสูงสุดที่ยอมรับได้ของอุปกรณ์เพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบ แต่ในการปฏิบัติงานยังมีอีกหลายปัจจัยที่ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องปฏิบัติตามเพื่อให้ผลของการวัดแรงปฏิกิริยาที่มีความถูกต้องหรือเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดให้น้อยที่สุด ขั้นตอนการดำเนินงานพิจารณาได้ดังนี้

8.3.1 การเตรียมข้อมูลที่จำเป็น

8.3.1.1 เตรียมข้อมูลค่าแรงปฏิกิริยาของแบริงที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งโดยทั่วไปผู้ออกแบบระบบเพลลา (อาจหมายถึงผู้ผลิต) จะทำการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่แบริงในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ ลักษณะที่เพลลาหยุดนิ่ง ณ อุณหภูมิห้อง (Cold Static Condition) ลักษณะที่เพลลาอยู่ระหว่างการใช้งาน (Warm MCR Condition) และลักษณะที่เพลลาหยุดนิ่งหลังจากการใช้งานแต่มีระดับอุณหภูมิใช้งาน (Warm Static Condition) โดยในขั้นตอนของการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบริงสำหรับการติดตั้งระบบเพลลาในขั้นตอน Final Alignment ต้องใช้ข้อมูลลักษณะที่เพลลาหยุดนิ่ง ณ อุณหภูมิห้อง (Cold Static Condition) และเมื่อเรือได้ผ่านการทดลองในทะเลแล้ว (ได้ผ่านการรับ Load และอิทธิพลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น) ก็จะต้องใช้ข้อมูลในลักษณะที่เพลลาหยุดนิ่งหลังจากการใช้งานแต่มีระดับอุณหภูมิใช้งาน (Warm Static Condition) ในการเปรียบเทียบค่าแรงปฏิกิริยาที่แบริง สำหรับข้อมูลแรงปฏิกิริยาที่แบริงในลักษณะที่เพลลาอยู่ระหว่างการใช้งาน (Warm MCR Condition) เป็นการคำนวณเพื่อพิจารณาว่าผลจากการขยายตัวของส่วนประกอบต่าง ๆ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลอย่างไรต่อแรงปฏิกิริยาที่แบริงในขณะที่มีการใช้งาน ทั้งนี้ไม่อาจทำการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบริงได้ในสภาพการใช้งานสุดท้ายนี้

BEARING LOADS SEEN FROM AFTWARD - OPERATING CONDITION 1 (COLD STATIC CONDITION)

	Y [mm]	Z [mm]	C [mm]	Fh [N]	Fv [N]	F [N]	φ [deg]
Aft Bracket Bearing	0,00	0,00	1,83	0	203615	203615	0.00
I-Bracket Bearing	0,00	0,00	1,71	0	126535	126535	0.00
Stern Tube Bearing	0,00	0,00	1,70	0	67862	67862	0.00
Radial Bearing Thrust	0,00	0,00	0,64	0	148993	148993	0.00
Aft Gearbox Bearing	0,00	-4,25	0,50	0	56561	56561	0.00
Fwd Gearbox Bearing	0,00	-4,25	0,50	0	56807	56807	0.00

Y	Bearing offset in horizontal direction
Z	Bearing offset in vertical direction
C	Bearing clearance (including bearing wear)
Fh	Bearing load in horizontal direction
Fv	Bearing load in vertical direction
F	Resultant bearing load
φ	Reaction point angle
	φ = 0°: 6 o'clock
	φ = 30°: 5 o'clock in anticlockwise direction
	φ = -30°: 7 o'clock in clockwise direction

รูปที่ 17 Bearing Load (Cold Static Condition) [1]

รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างของค่าแรงปฏิกิริยาที่แบริงจากการคำนวณในลักษณะเพลลาหยุดนิ่ง ณ อุณหภูมิห้อง (Cold Static Condition) ซึ่ง Rolls-Royce ได้คำนวณสำหรับการติดตั้งระบบเพลลาใบจักรของ ร.ล.ตรัง [3] ค่าแรงปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาคือในแถว Fv ซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยาของแบริงในแนวดิ่ง โดยมีค่าประมาณ 6.7 ตัน, 14.8 ตัน และ 5.6 ตัน ที่ตำแหน่งการวัดที่กระบอกตีฟุต Thrust Bearing และ MRG ด้านที่ต่อกับเพลลาใบจักร ตามลำดับ

8.3.1.2 เตรียมข้อมูลค่าอิทธิพลของการยกตัวต่อแรงปฏิกิริยาของแบร้ง (Reaction Influence Number) ค่าอิทธิพลนี้ได้จากการคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้งทั้งหมดเมื่อมีการกำหนดให้แบร้งหนึ่ง ๆ ยกตัวสูงขึ้น 1 มม. โดยค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้งที่เกิดขึ้นของทุกตำแหน่งก็จะสัมพันธ์กับการยกตัวของแบร้งนั้น รูปที่ 18 แสดงตัวอย่างของค่า Reaction Influence Number ของ ร.ล.ตรัง ที่คำนวณโดย Rolls-Royce ขอแสดงตัวอย่างว่า ถ้าหากพิจารณาว่าจะทำการปรับตำแหน่งของ Thrust Bearing (Bearing 4) สูงขึ้น 1 มม. จะมีผลทำให้ Thrust Bearing รับแรงกดเพิ่มขึ้นประมาณ 2.27 ตัน ส่วนที่ตำแหน่ง Stern Tube (Bearing 3) และ Aft Reduction Gear Bearing (Bearing 5) ลดลงประมาณ 1.80 ตัน และ 3.95 ตัน ตามลำดับ ดังนั้นตารางค่า Reaction Influence Number จึงเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับแต่งค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้ง โดยพิจารณาจากระยะยกของแบร้ง ณ ตำแหน่งนั้น ๆ

REACTION INFLUENCE NUMBER - OPERATING CONDITION 1 (COLD STATIC CONDITION)
Units used: [N/mm]

	Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4	Bearing 5	Bearing 6
Bearing 1	790	-1903	1766	-731	279	-201
Bearing 2	-1903	5663	-7725	4439	-1697	1223
Bearing 3	1766	-7725	19155	-17665	16057	-11588
Bearing 4	-731	4439	-17665	22313	-38835	30478
Bearing 5	279	-1697	16057	-38835	174476	-150220
Bearing 6	-201	1223	-11588	30478	-150220	130368

รูปที่ 18 Bearing Influent Number for Cold Static Condition [1]

8.3.1.3 เตรียมข้อมูลค่าปรับแก้แรงปฏิกิริยาที่แบร้งระหว่างตำแหน่งที่วัดกับตำแหน่งจริงของแบร้ง (Jack Correction Factor) เนื่องจากไม่สามารถทำการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร้ง ณ ตำแหน่งแบร้งได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากการวางตัวของเพลานในแบร้ง การวัดแรงปฏิกิริยาจึงกำหนดให้อยู่ใกล้กับตำแหน่งแบร้งให้มากที่สุดและสะดวกต่อการดำเนินการ รูปที่ 19 เป็นตัวอย่างค่าปรับแก้แรงปฏิกิริยาที่แบร้งเนื่องจากตำแหน่งการวัดซึ่ง Rolls-Royce ได้คำนวณค่าสำหรับระบบเพลาชอง ร.ล.ตรัง จากรูปค่าปรับแก้ได้แสดงในแถว CORR โดย ณ ตำแหน่ง Jack No. 1 มีค่าปรับแก้ ๆ เท่ากับ 0.7994 ที่ตำแหน่ง Jack No. 2 มีค่าปรับแก้ ๆ เท่ากับ 1.0326 และที่ตำแหน่ง Jack No. 3 มีค่าปรับแก้ ๆ เท่ากับ 1.3965 ดังนั้นเมื่อทำการวัดค่าแรงปฏิกิริยา ๆ ณ ตำแหน่งต่างๆ ได้แล้วก็ต้องทำการปรับแก้ด้วยค่า Jack Correction Factors ก่อนที่จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าแรงปฏิกิริยา ๆ จากการคำนวณ

JACK CORRECTION FACTORS - OPERATING CONDITION 1 (COLD STATIC CONDITION)

DESCRIPTION	POSITION [mm]	JACK OFFSETS		LOAD [N]	CORR -
		NEW [mm]	INITIAL [mm]		
Jack 1 Stern Tube Bearing	26159,0 24621,0	-0,29	-0,51	84387 67862	0,7994
Jack 2 Radial Bearing Th	31008,0 30404,0	-0,43	-0,57	144292 148993	1,0326
Jack 3 Aft Gearbox Beari	39333,0 40160,5	-4,41	-4,47	40503 56561	1,3965

รูปที่ 19 Jack Up Correction Factor [1]

8.3.2 การเตรียมพื้นที่ปฏิบัติงาน

8.3.2.1 ให้ทำการถ่วงเรือให้เป็นไปตามแนวน้ำออกแบบหรือในสภาพการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้ผลการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร้งสัมพันธ์กับสภาพของเรือที่ใช้งาน ทั้งนี้หากเป็นกรณีของเรือต่อใหม่การถ่วงถึงน้ำในช่วงหลังจากปล่อยเรือลงน้ำอาจไม่สามารถกระทำได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องความพร้อมของ

ถึงต่าง ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ก่อนปล่อยเรือลงน้ำจะต้องมีการวางแผนถึงการใช้งานถึงต่าง ๆ สำหรับการถ่วง ทั้งนี้เพื่อให้ถึงดังกล่าวพร้อมใช้งานหลังจากทำการปล่อยเรือลงน้ำ แต่ในกรณีของเรือที่ผ่านการใช้งานมาแล้วการถ่วงถึงเพื่อปรับทริมเรือคงจะดำเนินการได้โดยไม่ยาก

8.3.2.2 ทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางบริเวณเพลลาใบจักรให้มั่นใจว่าไม่มีอุปกรณ์ใด ๆ ขัดขวางการเคลื่อนที่ของเพลลาในขณะที่ทำการวัดแรงปฏิกิริยา เช่น ท่อทาง นั่งร้าน และ Support ต่าง ๆ รวมถึงการผูกมัดตึงต่าง ๆ ที่อาจฝากไว้กับเพลลา นอกจากนี้หากเป็นกรณีของอุปกรณ์ใหม่เช่น Thrust Block ผู้ผลิตอาจทำการยึดเพลลาให้อยู่ในตำแหน่ง Center ในระหว่างการขนส่ง อุปกรณ์สำหรับการยึดเพลลาในลักษณะนี้ก็จำเป็นที่จะต้องถอดออกก่อนที่จะทำการวัดแรงปฏิกิริยาที่แท้จริง

8.3.2.3 ทำการเปิดฝาด้านบนของแบร็งก์ที่มีการประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะซิกบน-ล่าง ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับแบร็งก์โดยเฉพาะกรณีที่กระทบค่า Clearance ของแบร็งก์นั้น ๆ

8.3.2.4 ทำการติดตั้ง Support สำหรับการติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) ทั้งนี้จะต้องทำการเชื่อมยึดให้แน่นหนา โดยหากพื้นที่ติดตั้งไม่มีโครงสร้างตัวเรือรองรับจะต้องพิจารณาเสริมโครงสร้างรองรับเพื่อป้องกันการแอ่นตัวซึ่งจะส่งผลถึงการอ่านค่าระยยกของเพลลา

8.3.2.5 ในกรณีของเรือต่อใหม่ อาจต้องพิจารณาติดตั้ง Pre-Bolt เพื่อยึดอุปกรณ์เข้ากับฐานแท่นให้แน่น ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์นั้น ๆ เกิดการยกตัวขึ้นเนื่องมาจากแรงของการ Jack Up อาทิเช่น Plummer Block และ Thrust Block แต่หากเป็นกรณีของเรือที่ผ่านการใช้งานมาแล้วอุปกรณ์ส่วนใหญ่ก็จะได้รับการกดสลักเข้ากับฐานแท่นอย่างแน่นหนาอยู่แล้ว

8.3.2.6 ทำการเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดแรงปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่จำเป็นดังนี้ 1) Hydraulic Jack 2) Dial Gauge และ 3) ชุด Load Cell โดยที่ชุด Load Cell อาจพิจารณาใช้การอ่านค่า Pressure Gauge ของในการ Jack ก็ได้ แต่ถ้าหากใช้ Load Cell ก็จะสะดวกยิ่งขึ้น ในการพิจารณาเลือกเครื่องมือต้องพิจารณาขนาด (Capacity) ให้เหมาะสม เช่น ย่านของ Load Cell และแม่แรงไฮดรอลิก ควรให้สูงกว่าค่าแรงกด ณ ตำแหน่งแบร็งก์ ทั้งนี้ให้พิจารณาข้อมูลจากค่าคำนวณหรือข้อกำหนดของอุปกรณ์นั้น ๆ

การ Jack Up เพลลาควรมีการเสริมด้วย Adapter เพื่อให้หน้าสัมผัสของการ Jack Up มีความมั่นคง ทั้งนี้ Adapter จะมีการขึ้นรูปที่มีมุมเอียงเดียวกับระบบเพลลาและควรทำการขึ้นรูปด้านที่สัมผัสเพลลาให้สามารถรองรับส่วนโค้งของเพลลาได้ เช่น การทำร่องวี (V) หรือการเว้าโค้งตามรัศมีของเพลลา ทั้งนี้หากไม่มีการเสริมด้วย Adapter ในการทำ Jack Up อาจทำให้เกิดอันตรายเพราะชุด Hydraulic อาจเลื่อนหลุดจากตำแหน่ง Jack Up ได้ โดยเฉพาะเมื่อทำการ Jack Up ระบบเพลลาที่มีมุมเอียง

8.3.3 ขั้นตอนการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร็งก์

8.3.3.1 ทำการตรวจสอบบริเวณปฏิบัติงานโดยรอบระบบเพลลา เพื่อป้องกันการดำเนินงานต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเพลลา หรือเกี่ยวข้องกับระบบเพลลา ทั้งนี้อาจต้องมีการแสดงป้ายเพื่อแจ้งให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียงทราบ โดยเฉพาะเมื่อมีการปฏิบัติงานในห้องข้างเคียง

8.3.3.2 ทำการติดตั้งชุดไฮดรอลิกและ Dial Gauge

ก) หากมีการกำหนดตำแหน่งการวางอย่างชัดเจนก็ให้พิจารณาติดตั้งในตำแหน่งที่กำหนด แต่ถ้าหากไม่มีการกำหนดที่ชัดเจนก็ให้พิจารณาดำเนินการที่ใกล้กับแบร็งก์ให้มากที่สุดและต้องเป็นตำแหน่งที่มั่นคงและปฏิบัติงานได้สะดวก

ข) พิจารณาให้หน้าสัมผัสของชุดไฮดรอลิกแนบสนิทไปกับเพลาทันทีเพื่อป้องกันการเลื่อนไถลในระหว่างการ Jack Up

ค) ต่อชุดไฮดรอลิกกับปั๊มไฮดรอลิก โดยตัวปั๊มควรอยู่ในตำแหน่งที่ปฏิบัติงานได้สะดวก โดยอาจใช้สายยาวเพื่อต่อระยะให้ชุดปั๊มตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ทำงานสะดวก โดยเมื่อต่อปั๊มไฮดรอลิกเข้ากับชุดแม่แรงแล้วก็ให้ทำการไล่อากาศออกจากระบบ

ง) ทำการติดตั้ง Dial Gauge ณ ตำแหน่งด้านบนของอุปกรณ์ที่จะทำการวัด โดยต้องทำการยึด Dial Gauge กับฐานที่มั่นคงและไม่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเพลาระหว่างการ Jack Up

จ) ให้ทำการ Jack Up เพื่อยกเพลาชิ้นสุดและลงสุด 1 รอบ โดยให้พิจารณาจากระยะการยกตัว ณ ตำแหน่งแบร์ริงนั้น (Bearing Clearance) ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดค่าความคลาดเคลื่อนของ Hysteretic ระหว่างการ Jack Up เพื่อยกเพลาลงและปล่อยเพลาลง

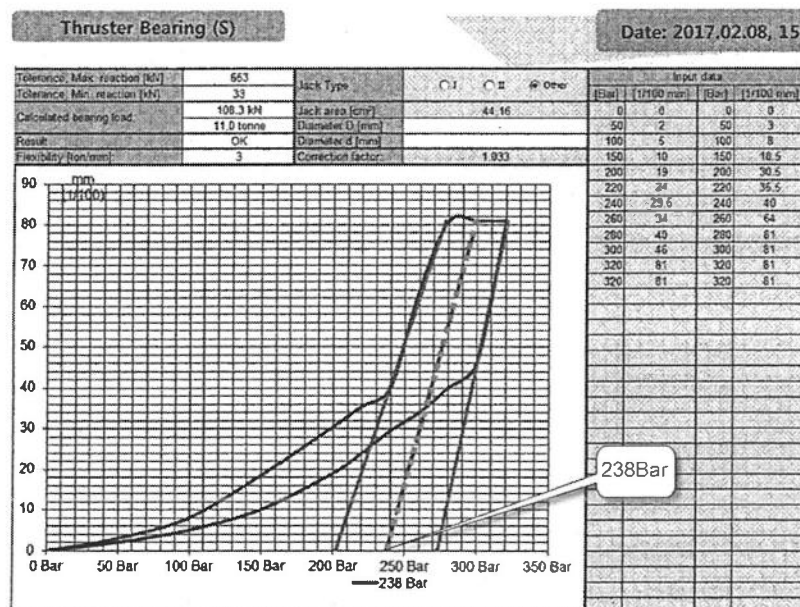
8.3.3.3 ทำการ Jack Up เพื่อวัดค่าแรงปฏิกิริยา

ก) ตั้งค่า Dial Gauge เป็นศูนย์

ข) ให้ทำการยกเพลาชิ้นอย่างช้า ๆ พร้อมทั้งทำการบันทึกที่ระยะการยกตัวและกำลังดันที่ใช้ในการยกตัว (ทั้งนี้หากใช้ Load Cell ก็สามารถอ่านค่าแรงได้เลย)

ค) ทำการปล่อยเพลาลงอย่างช้า ๆ และทำการบันทึกในลักษณะเดียวกันกับข้อ ข)

ง) ทำการพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร์ริง รูปที่ 20 เป็นตัวอย่างของการพล็อตกราฟเพื่อหาแรงปฏิกิริยาที่แบร์ริงซึ่งใช้การพิจารณาค่ากำลังดันของไฮดรอลิก โดยจากรูปค่าแรงปฏิกิริยาสามารถพิจารณาได้ประมาณที่ 238 Bar โดยสามารถคำนวณแรงปฏิกิริยาในหน่วยแรงได้ด้วยารคูณกำลังดันกับพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (ในกระบอกไฮดรอลิก) แต่ทั้งนี้หากใช้ Load Cell ในการวัดแรงปฏิกิริยาค่าแรงที่อ่านได้ก็สามารถนำมาพล็อตกราฟได้เลย ซึ่งจะสะดวกมากกว่าการอ่านกำลังดันของแม่แรงไฮดรอลิก



รูปที่ 20 ตัวอย่างการพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาแรงปฏิกิริยาที่แบร์ริง

8.3.4 การวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในแบร์ริงแต่ละตำแหน่ง

ด้วยวัตถุประสงค์ของการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร์ริงก็เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงปฏิกิริยาของแบร์ริงที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งหากค่าที่วัดได้ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดก็จะต้องมีการปรับความสูงของแบร์ริง/อุปกรณ์ เพื่อให้ค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร์ริงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งการปรับแต่งอาจเป็นได้ทั้งในกรณี

เสริมซึม (Shim) ขึ้นหรือลดซึม (Shim) ตามความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยทั้งนี้การที่จะปรับเพิ่มหรือลดความสูงลงเท่าไรนั้นก็ให้พิจารณาจากค่า Reaction Influent Number นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยเรื่องจัดวางอุปกรณ์ในระเพลาใบจักรด้วยทั้งนี้เพื่อพิจารณาเลือกปรับตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ดำเนินการได้สะดวกในอันดับต้น ๆ อาทิเช่น การปรับตำแหน่งของเกียร์ย้อมส่งผลกระทบถึงเครื่องจักรใหญ่ ดังนั้นควรพิจารณาปรับตำแหน่งของแบร้งก่อนถึงเกียร์ในอันดับแรกหากสามารถดำเนินการได้ เพราะตำแหน่งของแบร้งย้อมสามารถดำเนินการได้ง่ายกว่าการปรับตำแหน่งของเกียร์

จากแผนภูมิที่แสดงในรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าการปรับแต่งตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ผลการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร้งผ่านเกณฑ์นั้น อาจจำเป็นต้องดำเนินการหลายครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากไม่สามารถหาข้อมูล Reaction Influent Number มาใช้อ้างอิงในการปรับแก้ การดำเนินการปรับแก้ก็จะเป็นในลักษณะของ Trial and Error แต่ถึงแม้กระนั้นหากผู้ปฏิบัติงานมีการจดบันทึกก็必将ทำให้ทราบถึงแนวทางการดำเนินการแก้ไขได้เป็นอย่างดี

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่แบร้งมาอ้างอิงในการวัดค่าแรงปฏิกิริยาที่แบร้งซึ่งในกรณีนี้มักเกิดขึ้นกับกรณีของเรือซ่อม ผู้ปฏิบัติควรต้องทำการวัดแรงปฏิกิริยาที่แบร้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ก่อนที่จะนำเรือเข้าซ่อมทำ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงหลังการซ่อมทำ สำหรับในกรณีนี้ควรจะต้องหาข้อมูลค่าแรงกดสูงสุดที่ยอมรับได้ของแต่ละแบร้งเพื่อประกอบการวิเคราะห์ในการปรับแก้ศูนย์ระบบเพลาใบจักรด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่อาจรับแรงกดสูงกว่าค่ายอมรับได้

กรณีพิเศษเช่นนี้มีตัวอย่างการคำนวณในผนวก จ.

9. การตั้งศูนย์เพลาใบจักรของเรือที่ผ่านการใช้งานแล้ว

เรือที่เกิดความเสียหายกับส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบเพลาจันต้องชักเพลารอกเพื่อทำการซ่อมทำ โดยมีต้องถอดถอนเกียร์และเครื่องจักรใหญ่ สมควรที่จะดำเนินการดังต่อไปนี้

9.1 หาข้อมูลการตั้งศูนย์เพลาใบจักรจากผู้ที่ปฏิบัติงานครั้งล่าสุด เพื่อใช้เป็นตัวเลขอ้างอิงในการปฏิบัติงาน

9.2 นำของเหลวออกจากถังต่าง ๆ ของเรือ ขนวัตถุและเครื่องใช้ต่าง ๆ ขึ้นจากเรือ เพื่อให้สภาพการบรรทุกภาระของเรือเหมือนกับสภาพเรือต่อใหม่ที่เตรียมการจะตั้งศูนย์เกียร์

9.3 ปลดสลักยึดหน้าแปลนเกียร์และหน้าแปลนเพลารอกออกจากกัน ใช้ไดแอลลินดิเคเตอร์วัดระยะ GAP และ SAG ในลักษณะเดียวกับเมื่อตั้งศูนย์เกียร์ตามรูปที่ 11 และรูปที่ 12 แล้วบันทึกตัวเลขทั้งหมดไว้

9.4 นำเรือหนึ่งหมอนในอู่แห้ง แล้ววัดตัวเลข GAP และ SAG อีกครั้ง นำไปเปรียบเทียบกับขณะเมื่อเรือลอยในน้ำ ตามข้อ 9.3 แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลง (ตัวเลขจาก 9.3 หักออกจากตัวเลขในข้อ 9.4)

9.5 นำตัวเลขการเปลี่ยนแปลงไปหักออกหรือบวกกับข้อมูลการตั้งศูนย์เพลารอกครั้งล่าสุด (ตามข้อ 9.1) แล้วแต่กรณี เพื่อใช้ผลลัพธ์จากการคำนวณนี้เป็นตัวเลขเป้าหมายของการตั้งศูนย์เพลารอก

9.6 นำโยงโย่ติดตั้งกับเรือชั่วคราวหรือใช้ JIG ประคองไว้ สอดเพลารอกเข้าที่พร้อมกับการติดหน้าแปลนปรับแต่งตำแหน่งของโยงโย่จนกระทั่งค่า GAP และค่า SAG ระหว่างหน้าแปลนเพลารอกและหน้าแปลนเกียร์มีค่าเท่ากับตัวเลขในข้อ 9.5 แล้วจึงตรึงเพลารอกให้อยู่กับที่

9.7 ติดตั้งโยงโย่ให้ติดกับตัวเรืออย่างถาวร โดยระวางมิให้หน้าแปลนเพลารอกขยับจากที่เดิม

9.8 นำเรือลงลอยในน้ำ หลังจากรอเวลาประมาณ 3 วัน ให้ตรวจสอบค่า GAP และค่า SAG ระหว่างหน้าแปลนเพลารอกและหน้าแปลนของเกียร์อีกครั้ง ตัวเลขที่ได้ควรจะมีค่าใกล้เคียงกับตัวเลขการตั้งศูนย์เพลารอกครั้งล่าสุดตามข้อ 9.1

9.9 ในกรณีที่มิสามารถจัดหาตัวเลขการตั้งศูนย์เพลาค้างครั้งสุดท้ายให้ดำเนินการโดยใช้เกณฑ์ที่กล่าวถึงในข้อ 6 (การตั้งศูนย์เกียร์) แต่จะต้องนำค่าเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพเรือลอยน้ำและเรือนั่งหมอนตามข้อ 9.5 มาร่วมคำนวณด้วย

9.10 เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพเป็นผู้ตรวจสอบค่า GAP และ SAG ร่วมกับเจ้าหน้าที่ของโรงงานติดตั้งเครื่องกล

ผนวก ก.

เอกสารอ้างอิง

1. น.อ.สมหมาย ใช้สมบุญ ,คู่มือซ่อมและหาศูนย์เพลลาใบจักร ,กรมพัฒนาการช่าง ,กรมอุทหาเรือ ,กทม. 2525
2. น.ต.ชูศักดิ์ เสนานิกรม ,การตั้งศูนย์เพลลาใบจักร ,กรมพัฒนาการช่าง ,กรมอุทหาเรือ ,กทม. ,กุมภาพันธ์ 2523
3. น.ต.วีรวัฒน์ กลัดอำ ,การคำนวณสำหรับการตั้งศูนย์เพลลาใบจักร ขณะเรือลอยอยู่ในน้ำ ,กรมยุทธศึกษา ทหาเรือ ,กทม. ,พ.ศ.2528
4. บริษัทแมโทรแมชินเนอรี จำกัด ,คู่มือการใช้และการวางเครื่องยนต์ Catterpillar ,กทม.
5. VOSPER PRIVATE LTD. ,STANDRAD PROCEDURE NO.SP3 – 05A ,SHAFTING ALIGNMENT USING CHOCKFAST (PIANO WIRE METHOD).
6. NAVAL SEA SYSTEM COMMAND DETACHMENT ,MAIN PROPULSION SYSTEM ALIGNMENT MANUAL FOR CRAFT OF THE U.S.NAVY ,NORFOLK ,VIRGINIA ,U.S.A. ,JUNE 1980 .
7. BEER AND JOHNSTON ,MECHANICS FOR ENGINEERS ,McGRAW – HILL BOOK COMPANY, NEWYORK ,USA. ,1972 .
8. TACOMA BOATBUILDING CO. ,PROPULSION SHAFTING ALIGNMENT ANALYSIS AND PROCEDURE FOR RTN PSMM – 16 CLASS VESSEL ,TACOMA ,WASHINGTON ,U.S.A. ,MAY 1984.
9. J.J. FRANCIS ,LRCTURE NOTES ON “SHAFTING ALIGNMENT” ,BOSTON NAVAL SHIPYARD , BOSTON MASSACHUSETTE ,U.S.A. ,OCTOBER 1962.
10. MAYBACH MERCEDEZ – BENZ’S SERVICE FOR TECHNICAL INFORMATION ,BULLETIN RSM 07 10 68 ,FRIEDRICHSHAFFN ,WEST GERMANY ,OCTOBER 1968.
11. MTU’S TECHNICAL INFORMATION ,RSM NO. 19 08 69 ,FRIEDRICHSHAFFEN ,WEST GERMANY, JULY 1970
12. RENK TACKE GmbH ,MANUAL FOR INSTALLATION AND CHECKING ,AUGSBURG ,GERMANY.
13. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, GUIDANCE NOTES ON PROPULSION SHAFTING ALIGNMENT, NORTHCHASE DRIVE HOUSTON TX 77060 USA
14. Caterpillar, Marine Engine Application and Installation Guide, Caterpillar Inc. USA, 2000.
15. Lloyd’s Register, Provisional Rules for the Classification of Naval ships (Shafting System): Volume 2, Part 3, Chapter 2
16. Thordon Bearing INC., Marine Bearing Installation Manual Version:2008.1, Canada, www.thordonbearings.com, Accessed:15Feb2017.
17. Shaft Installation and Alignment Calculation, Report SA1499 rev B, Yard No. DSME nb. 7049, Rolls-Royce, 2015.
18. HELLMANN ,DESIGN ENGINEER ,FR.LUERSEN WERFT ,BREMEN ,WEST GERMANY ,ธันวาคม 2530
19. น.อ.ชูศักดิ์ เสนานิกรม ผอ.กองวางแผนงานฝ่ายเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทหาเรือ (อดีตผู้ควบคุมงาน ด้านกลจักร การสร้างเรือชุด ร.ล.รัตนโกสินทร์) กุมภาพันธ์ 2534

20. NA431 Marine Engineering II, Professor Mike Parsons, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan

ผนวก ข.

การวิเคราะห์สำหรับการตั้งศูนย์เพลลา

1. วัตถุประสงค์ของการตั้งศูนย์เพลลา

การวิเคราะห์สำหรับการตั้งศูนย์เพลลามีจุดประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของแบริงทุกตัวที่จะทำให้เกิดสภาวะที่ต้องการดังต่อไปนี้

1.1 แรงปฏิกิริยาของแบริงทุกตัวจะต้องไม่สูงเกิน 80% ของค่า Maximum allowable limit ที่กำหนดจากผู้ออกแบบในทุกๆสภาวะการทำงาน

1.2 แรงปฏิกิริยาของแบริงทุกตัวจะต้องมีค่าเป็นบวกเสมอ

1.3 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่กระทำบนเพลลาไบจอร์และเพลลาข้อเหวี่ยงจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ออกแบบกำหนด

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเพลลาสำหรับการหาค่าแรงปฏิกิริยาของแบริง

จุดประสงค์ของการคำนวณเบื้องต้นคือ ต้องการทราบแรงปฏิกิริยาของแบริง (ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามแต่ขนาดเท่ากันกับแรงกดบนแบริง) และความเค้นที่เกิดในเพลลา ในการคำนวณนั้นจะใช้แบบจำลองโดยถือว่าเพลลาเป็นคานที่มีรูปหน้าตัดเป็นวงกลม และมีน้ำหนักของตัวมันเองและระบบท่อทางภายในเพลลาเป็นภาระแบบกระจาย (DISTRIBUTED LOAD) ส่วนน้ำหนักของไบจอร์และน้ำหนักของเฟืองจะคิดว่าเป็นภาระที่กระทำเป็นจุด (CONCENTRATED LOAD) คานที่เป็นแบบจำลองนี้จะวางอยู่บน RIGID SUPPORT ที่จุดกึ่งกลางของแบริงทุกตัว (ดูรูป ข - 1)

2.1. การคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาของแบริง

สิ่งที่จำเป็นต้องทราบในการคำนวณหาศูนย์เพลลาได้แก่ 1. ขนาดและมิติของเพลลา 2. วัสดุที่ใช้ในการผลิตเพลลา 3. น้ำหนักของอุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่บนเพลลาไบจอร์

การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน หลักๆ คือ 1. การคำนวณแรงปฏิกิริยาของแบริง 2. การคำนวณค่าอิทธิพลของการยกตัวของแบริง วิธีที่ใช้ในการคำนวณคือ Three Moment Method รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 20(ผนวก ก) ซึ่งมีทฤษฎีมาจาก Beam Theory ตามที่แสดงไว้ในรูป ข - 2 ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 การคำนวณแรงปฏิกิริยาของแบริงจะเริ่มคำนวณจากสภาวะที่แบริงทุกตัวเรียงตัวอยู่ในระดับเดียวกันทั้งหมดหรือที่เรียกว่า Straight - line alignment

2.1.2 การคำนวณค่าอิทธิพลของการยกตัวของแบริงจะสามารถกระทำได้หลังจากได้รับค่าแรงปฏิกิริยาเส้นตรงหรือ Straight - line reaction forces เรียบร้อยแล้ว ซึ่งการคำนวณนั้นจะเป็นการหาค่าแรงปฏิกิริยาของแบริงในสภาวะที่ยกแบริงขึ้น 1 หน่วย ครึ่งละหนึ่งตัว จนกระทั่งครบทุกตัวในระบบเพลลาไบจอร์ ซึ่งค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้นั้นเรียกว่าแรงปฏิกิริยายกตัวหรือ Raised - up reaction forces เมื่อได้ค่าแรงปฏิกิริยายกตัวเรียบร้อยแล้วจะสามารถนำมาหาค่าอิทธิพลของการยกตัวของแบริงได้โดยการหาค่าส่วนต่างระหว่างแรงปฏิกิริยายกตัวและแรงปฏิกิริยาเส้นตรง ซึ่งค่าอิทธิพลของการยกตัวของแบริงจะสามารถใช้ในการหาตำแหน่งในแนวตั้งของแบริงที่เหมาะสมตามข้อ 1. ซึ่งความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาของแบริงที่สภาวะต่างๆ สามารถสังเกตได้จากรูป ข - 3 โดยตัวอย่างการคำนวณแรงปฏิกิริยาของแบริงสำหรับระบบเพลลา ร.ล.นาราวาส แสดงใน อนุผนวก ก และตัวอย่างการคำนวณแรงปฏิกิริยาของแบริงสำหรับระบบเพลลา ร.ล.กระบี่ แสดงใน อนุผนวก ข

3. ค่าของ GAP และค่าของ SAG

การคำนวณด้วย BEAM THEORY นั้น นอกจากจะได้ค่าแรงกดหรือแรงปฏิกิริยาของแบร็งแล้วยังจะได้เส้นโค้งการแอ่นตัวของเพลลาหรือ DEFLECTION CURVE ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในการวัดค่า GAP และค่า SAG ของหน้าแปลนเพลลาสองท่อนที่ยังไม่ร้อยสลักเข้าด้วยกันได้

ในรูป ข - 4 เป็นระบบเพลลาใบจักรของเรือหลวงล่องลม (ลำที่ 2) มีแบร็งในเพลลาทั้งหมด 5 ตัว ตัวนี้คือในโยงโยตัวหน้าและตัวท้าย ใน SHAFT TUNNEL และแบร็งหัวท้ายของ GEARBOX ผลการคำนวณเพื่อตรวจสอบแรงปฏิกิริยาของแบร็งเมื่อแบร็งทุกตัวอยู่บนเส้นตรง พบว่า แบร็งตัวท้ายของเกียร์มีภาระสูงมากในขณะเดียวกันแบร็งตัวหัวของเกียร์อยู่ในสภาพ UNLOAD (แรงปฏิกิริยามีเครื่องหมายลบ) เมื่อทดลองยกแบร็งหัวของเกียร์ให้สูงกว่าแนวเดิม 0.62 มม.พบว่า ภาระของแบร็งทั้งสองของเกียร์มีค่าใกล้เคียงกัน และสภาพ UNLOAD หายไป วิศวกรผู้ออกแบบตกลงใจใช้ศูนย์เพลลาอันนี้

เนื่องจากระยะทางระหว่างแบร็งใน SHAFT TUNNEL และหน้าแปลนเกียร์ยาวมาก การตั้งศูนย์เพลลาจึงต้องมีการใส่แบร็งชั่วคราวเพื่อประคองเพลลาเรียกว่า SHAFT CRUTCH เพื่อป้องกันให้มีระยะตกของปลายเพลลา จากการคำนวณพบว่า เมื่อติดตั้งแบร็งทุกตัวรวมทั้ง SHAFT CRUTCH เข้าที่แล้ว ปลายของเพลลาจะสูงกว่าแนวแกนเพลลาเท่ากับ 0.138 มม. และมีเอียงเป็นมุม 128.9×10^{-6} RADIAN ในขณะที่เมื่อแบร็งตัวท้ายของเกียร์อยู่บนแนวแกนเพลลา และแบร็งหัวของเกียร์สูงกว่าแนวแกนเท่ากับ 0.62 มม.นั้น หน้าแปลนเกียร์จะอยู่ต่ำกว่าแนวแกนเพลลาเท่ากับ 0.249 มม. และมี SLOPE เท่ากับ 920.6×10^{-6} RADIAN จากรูป ข - 4

$$\text{ระยะ } a = \frac{0.138}{2} + \frac{315}{2} \cos \frac{(128.9 \times 10^{-6} \times 360)}{2\pi} = 157.64 \text{ mm}$$

$$b = \frac{315}{2} \cos \frac{[920.6 \times 10^{-6} \times 360]}{2\pi} - 0.289 = 157.21 \text{ mm}$$

ดังนั้นระยะ SAG ระหว่างหน้าแปลนทั้งสอง คือ $a - b$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$157.64 - 157.21 = 0.43 \text{ mm}$$

ระยะ GAP ด้านบน = $x + c - y$; c = ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของหน้าแปลนทั้งสอง

$$\begin{aligned} x &= \frac{315}{2} \sin \frac{(128.9 \times 10^{-6} \times 360)}{2\pi} \\ &= 0.02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{315}{2} \sin \frac{(920.6 \times 10^{-6} \times 360)}{2\pi} \\ &= 0.145 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นระยะ GAP ด้านบน} = c + 0.02 - 0.145 = c - 0.125 \text{ mm}$$

$$\text{ระยะ GAP ด้านล่าง} = c - x + y$$

$$= c - 0.02 + 0.145$$

$$= c + 0.125 \text{ mm}$$

ผลต่างระหว่าง GAP ด้านบนและ GAP ด้านล่าง

$$= c + 0.125 - (c - 0.125) = 0.25 \text{ mm}$$

เนื่องจากการตั้งศูนย์เกียร์จะต้องใช้หน้าแปลนของเพล่าเป็นจุดอ้างอิง ช่างผู้ปฏิบัติจะแน่ใจว่าติดตั้งเรือนเกียร์เข้าที่อยู่ถูกต้องก็ต่อเมื่อตรวจสอบพบว่า

- วัดระยะ SAG แล้วพบว่า หน้าแปลนเพล่าสูงกว่าหน้าแปลนเกียร์ เท่ากับ 0.43 มม. (+ อัตราผิดที่ยอมรับได้)

- วัดระยะ GAP แล้วพบว่า GAP ด้านล่างกว้างกว่า GAP ด้านบนเท่ากับ 0.25 มม. (+ อัตราผิดที่ยอมรับได้)

สำหรับเรือที่มีเพล่าใบจักรมากกว่าหนึ่งท่อน สามารถใช้เทคนิคการวัดระยะ GAP และระยะ SAG ตรวจสอบว่าแบร้งทุกตัวอยู่ในตำแหน่งและความสูงที่ถูกต้องได้ โดยการปลดสลักรื้อยหน้าแปลนเพล่าออก แล้ววัดระยะ GAP และระยะ SAG ดังแสดงในรูป ข - 5

4. การตรวจสอบศูนย์เพล่าด้วยการวัดแรงปฏิกิริยาของแบร้ง

4.1 การวัดแรงปฏิกิริยาของแบร้งเป็นวิธีตรวจสอบตำแหน่งของแบร้ง โดยใช้แม่แรงยกเพล่าให้พ้นจากแบร้ง นำค่าแรงกดบนแม่แรงไปเทียบกับแรงปฏิกิริยาที่คำนวณได้ตามข้อ 4 ถ้าตัวเลขทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าแบร้งตัวนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว

4.2 การวัดค่าแรงของแรงปฏิกิริยาให้นำแม่แรงวางใต้เพล่าให้ชิดกับแบร้งที่จะวัดให้มากที่สุด แล้วนำไดแอลอินดิเคเตอร์มาติดไว้เพื่อวัดระยะที่เพล่ายกตัวขึ้น ตามรูป ข - 6 นำค่าแรงกดจากแม่แรงและระยะยกจากไดแอลอินดิเคเตอร์ มาพล็อตทั้งในขณะยกเพล่าขึ้นและลดเพลาลง จะได้กราฟในลักษณะในรูป ข - 7 ลากเส้นตรงให้ขนานกับ BC และ DE และแบ่งครึ่งระยะห่างระหว่างเส้นทั้งสองและตัดกับแกนระดับที่จุด G จุด G คือ ค่าแรงปฏิกิริยาของแบร้งที่กำลังตรวจสอบ

5. การตรวจสอบศูนย์ด้วยการวัดโมเมนต์ดัด

5.1 การวัดโมเมนต์ดัดในเพล่า จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์สองประการคือ

- สามารถนำมาคำนวณค่าความเค้นที่สูงสุดในเพล่า

- สามารถนำมาคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาของแบร้งซึ่งเมื่อเทียบกับค่าการคำนวณตามข้อ 4 แล้ว จะพิสูจน์ว่าแบร้งอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

5.2 การวัดโมเมนต์ดัด ปกติจะใช้เครื่องวัด Strain gauge และมีรายละเอียดในเอกสารอ้างอิงหมายเลข 3 โดยใช้สูตร

$$\pi = \frac{Mc}{I} = \epsilon E$$

ในที่นี้

π = ความเค้นในเพล่า

ϵ = ค่า STRAIN จาก STRAIN GAUGE

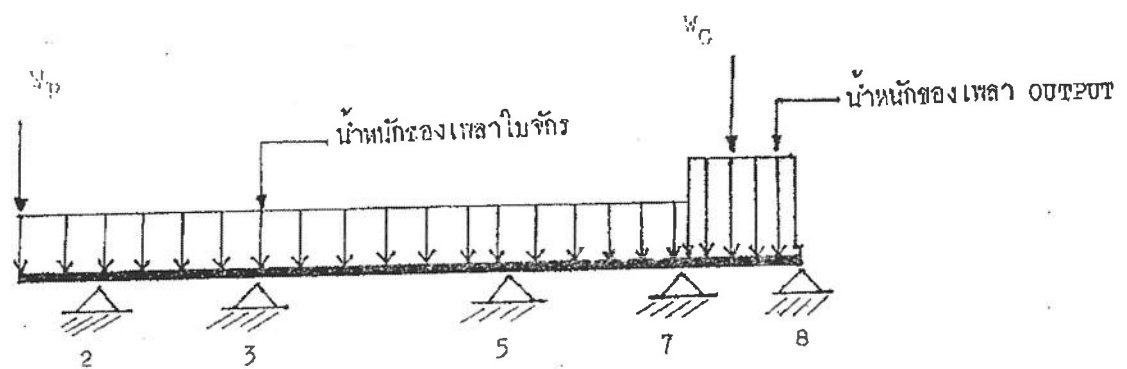
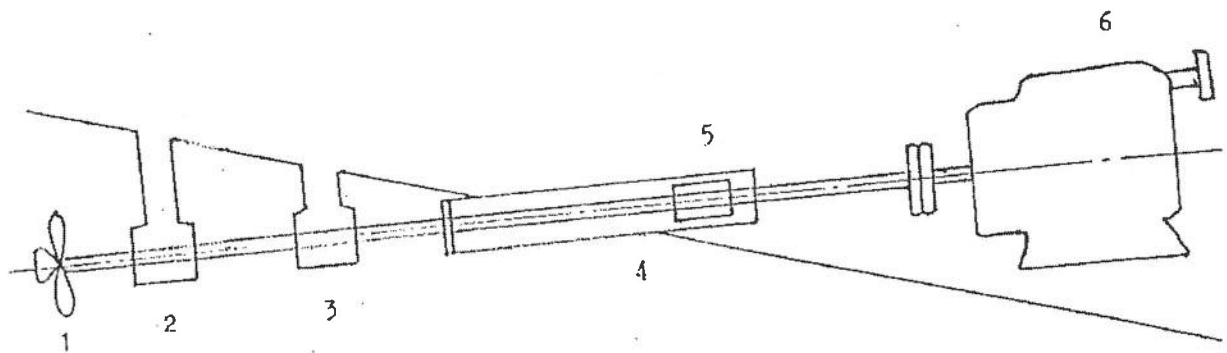
C = รัศมีของหน้าตัดเพล่า

M = โมเมนต์ดัด ณ จุดที่วัด

I = โมเมนต์ดิเนเชียของรูปหน้าตัดเพลลา

E = ค่า YOUNG MODULUS ของเพลลา

5.3 การทราบค่าโมเมนต์ดัด จะทำให้สามารถคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาของแบร็งได้ จากรูป ข-8 เมื่อคำนวณค่าโมเมนต์ดัด ได้ตามตำแหน่ง A, B, C แล้ว สามารถแยกเพลลาออกเป็น 4 ส่วนย่อย แล้วคำนวณค่าของ R_1, R_2, R_3, R_4 และ R_5 ซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยาของแต่ละแบร็งด้วยใช้หลักความสมดุลของแต่ละส่วนย่อยให้วิชากลศาสตร์



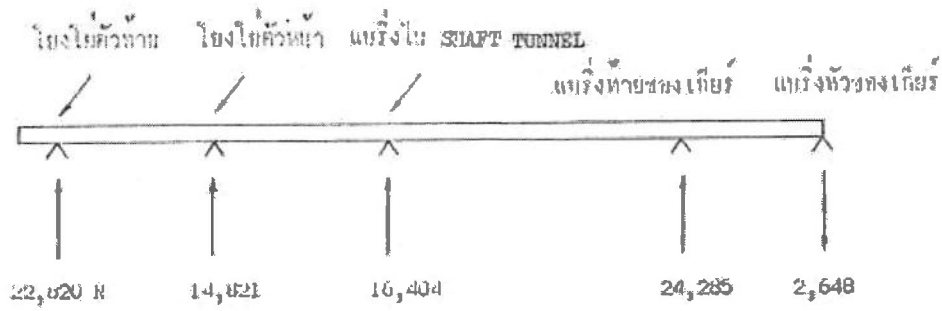
- | | |
|------------------------|--|
| 1. ใบจักร | 6. Gearbox |
| 2. โยงโยตัวท้าย | 7. แบริ่งรับ OUTPUT SHAFT ตัวท้ายของ Gearbox |
| 3. โยงโยตัวหน้า | 8. แบริ่งรับ OUTPUT SHAFT ตัวหน้าของ Gearbox |
| 4. กระบอกตีฟุต | |
| 5. แบริ่งในกระบอกตีฟุต | |

หมายเหตุ W_P = น้ำหนักของใบจักร
 W_G = น้ำหนักของเฟือง

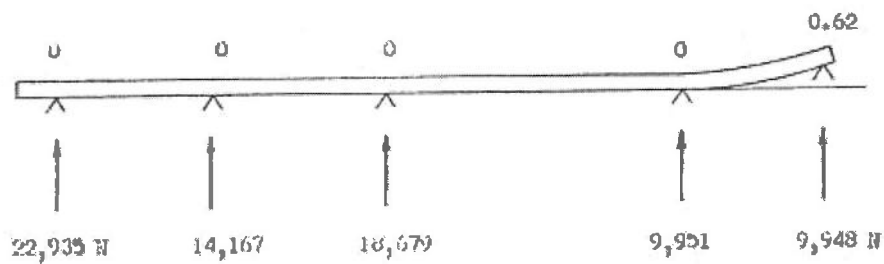
รูป ข-1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเพลา

ก. Free Body Diagram แสดงแรงที่กระทำกับคาน

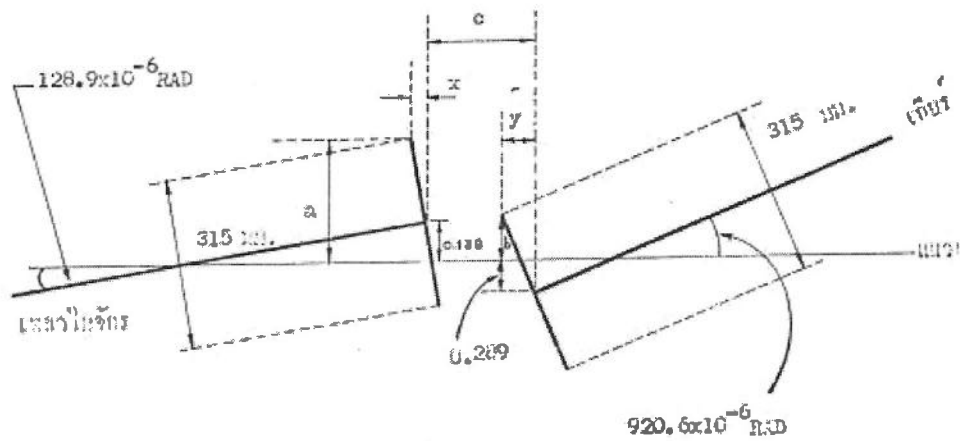
ข.



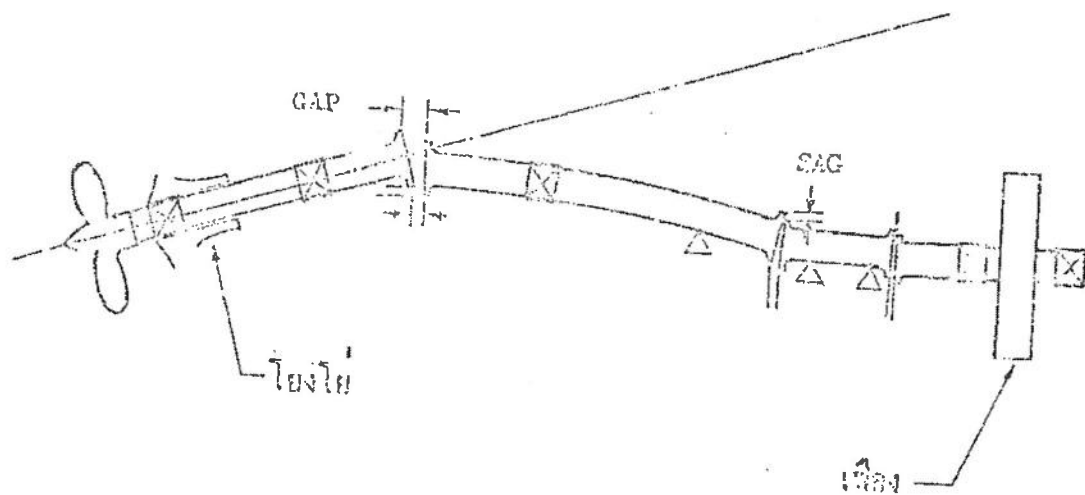
ก. แอ้งโงค้วท้าวแอ้งท้าวตทงเก็ยรโงค้วท้าว



ข. แอ้งโงค้วท้าวแอ้งท้าวตทงเก็ยรโงค้วท้าว 0.62 ม.



ค. แอ้งท้าวตทงเก็ยรโงค้วท้าว

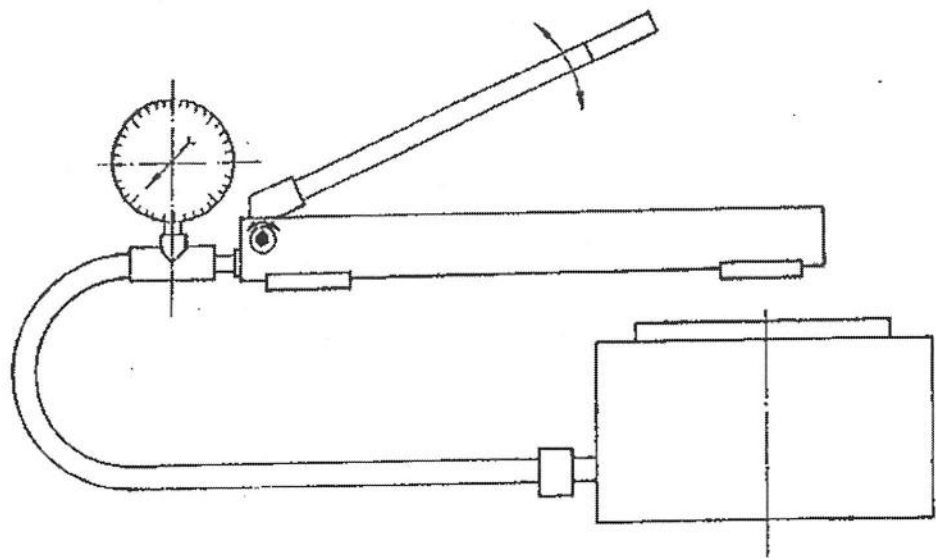


สัญลักษณ์

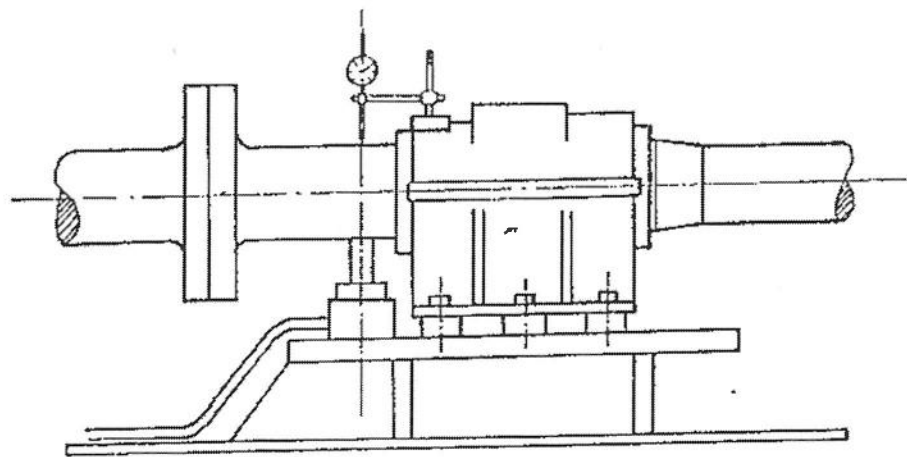
☒ = ส่วนของเวลาที่อยู่ในแบบที่ 1

△ = แบบที่ 2 ซึ่งการวัดการเคลื่อนที่ถึงเวลา

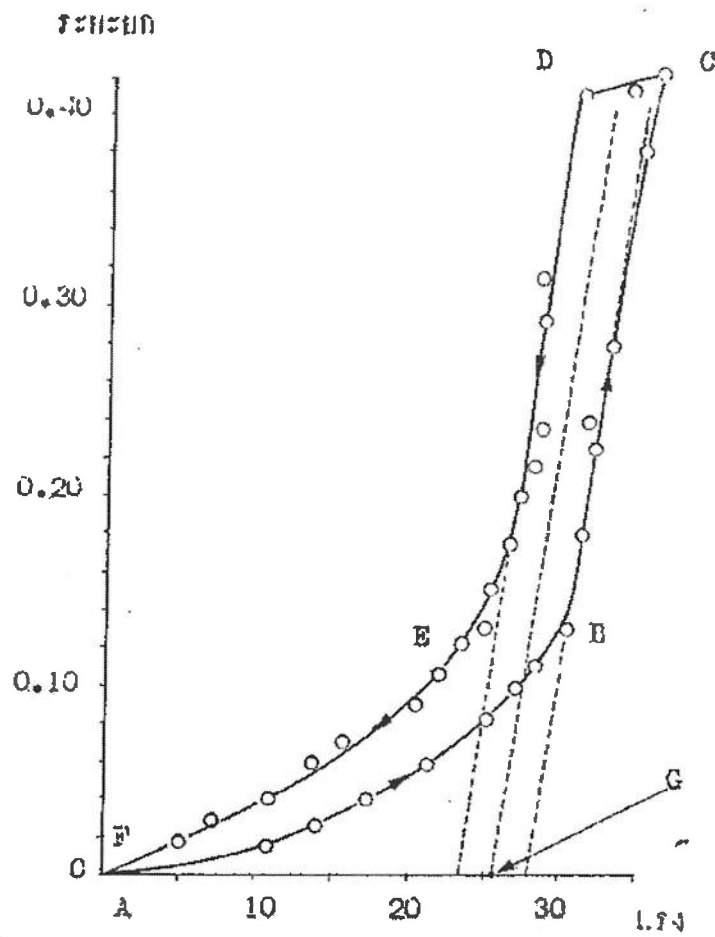
รูป 2 - ๕ การตรวจวัดแบบที่ 1 และ 2 GAP และ SAG



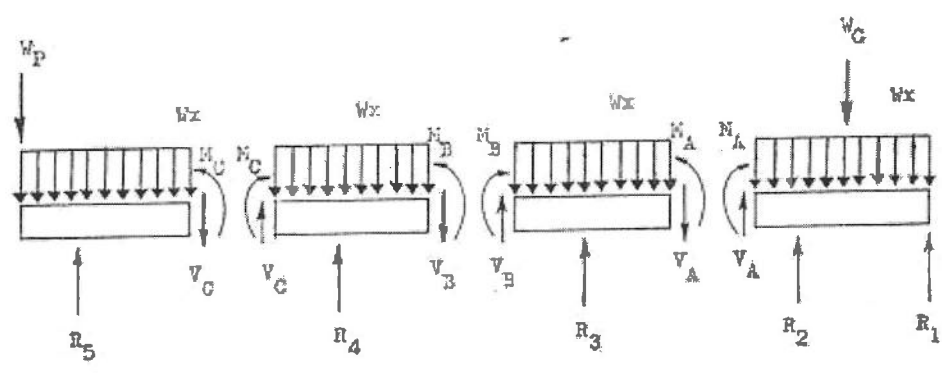
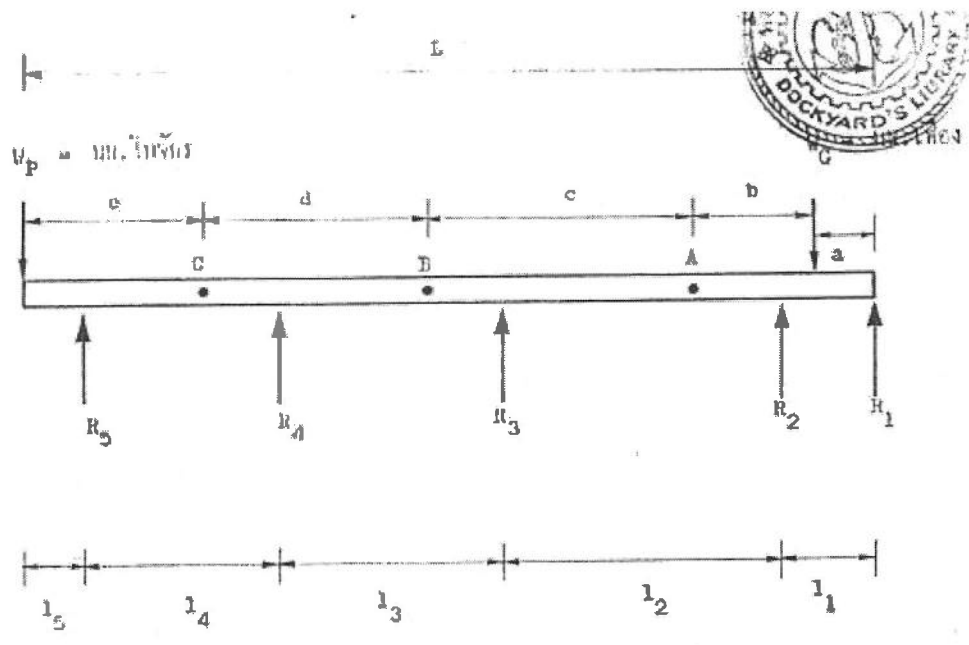
๑. เปรียบแรงไฮดรอลิกกับน้ำหนักวัดแรงยก



๒. การวัดตั้งแนวแรงและโคแอดซิโนทีเคเตอร์



เส้น ABC เป็นกราฟระยะหมก
เส้น DEF เป็นกราฟระยะหมก



รูป ข-9

ผนวก ค.

การคำนวณระยะตกท้องข้างของเส้นลวด

1. อ้างอิง

- 1.1 MECHANICS FOR ENGINEER ,BEER AND JOHNSTON ,Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1972
- 1.2 Main Propulsion System Alignment Manual for Craft of the U.S.Navy ,Naval Sea System Command Detachment ,Norfall ,June 1980.

2. ความมุ่งหมาย

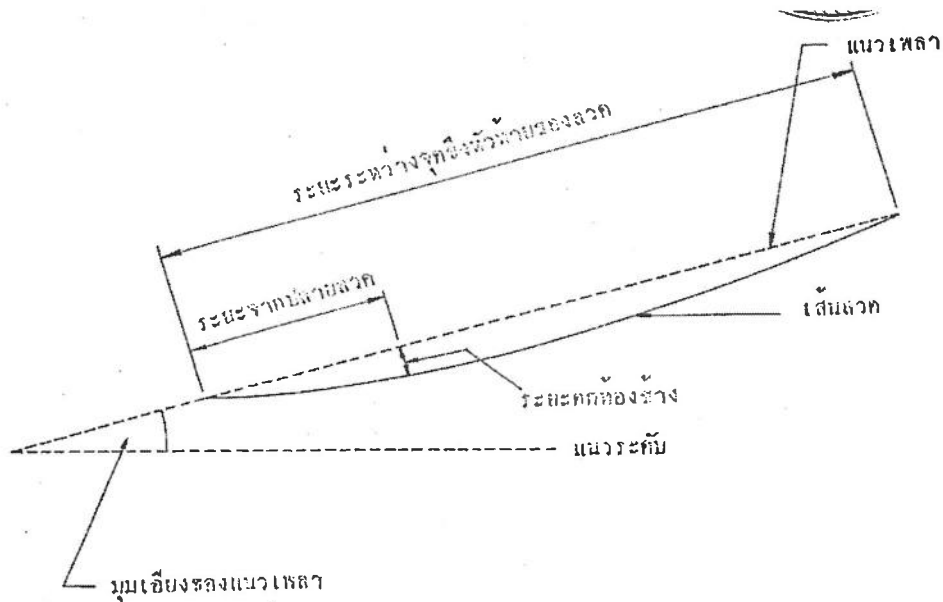
เพื่อกำหนดกรรมวิธีในการคำนวณระยะตกท้องข้างของเส้นลวด เพื่อใช้ในการตั้งศูนย์เพลลาใบจักร

3. นิยาม (ดูรูปที่ ค-1)

- 3.1 ระยะตกท้องข้าง คือ ระยะห่างระหว่างเส้นลวดกับแนวเพลลา วัดในแนวตั้งฉากกับแนวเพลลา ระยะตกท้องข้างจะมีค่าเปลี่ยนตามตำแหน่งบนแนวเพลลา
- 3.2 ระยะระหว่างจุดยิงหัวท้ายของลวด คือ ระยะทางตามแนวแกนเพลลาระหว่างจุดตั้งทั้งสองด้านของเส้นลวด ไม่จำเป็นต้องวัดในแนวระดับ
- 3.3 มุมเอียงของแนวเพลลา คือ มุมระหว่างแนวแกนเพลลา กับแนวระดับ
- 3.4 ระยะจากปลายลวด คือ ระยะทางตามแนวแกนเพลลาจากจุดปลายลวดมายังจุดที่ต้องการหาระยะตกท้องข้าง โดยคิดระยะทางด้านสั้นกว่า

4. การคำนวณระยะตกท้องข้าง

- 4.1 ระยะตกท้องข้างสามารถอ่านได้โดยตรงจากตารางในข้อ 4.3 ถ้าแนวแกนเพลลาอยู่ในแนวระดับ โดยต้องใช้แรงดึงในลวดให้เหมาะสม ดังอธิบายไว้ในภาคผนวก
- 4.2 ในกรณีที่แนวเพลลาไม่ได้อยู่ในแนวระดับแรงดึงในลวดที่คำนวณด้วยสมการในข้อ 4.3 จะต้องคูณด้วยค่า COSINE ของมุมเอียงของแนวเพลลาเสียก่อน



รูปที่ ค-1 ระยะตกท้องช้างของลวด (รูปเกินความจริง)

4.3 ตารางค่าการตกท้องช้างของลวดเป็นโน

- หมายเหตุ** 1. ตัวเลขที่แสดงในตารางทั้ง 3 ดังต่อไปนี้ ใช้สำหรับลวดเป็นโนหมายเลข 6 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.0166 นิ้ว (0.12164 มม.)
2. เส้นลวดจะต้องซึ่งให้มีแรงดึงที่เหมาะสมกับระยะระหว่างจุดหัวท้ายที่ตรึงเส้นลวดตามตารางทั้ง 3 การซึ่งลวดให้มีแรงตามที่กำหนดอาจกระทำโดยใช้น้ำหนักถ่วงที่ปลายหนึ่งของลวดก็ได้ แต่ต้องไม่มีแรงเสียดทาน
3. หากจำเป็นจะต้องใช้ลวดขนาดอื่น จะต้องซึ่งลวดด้วยแรงดึงที่เหมาะสมเพื่อให้มีระยะตกท้องช้างเท่ากับที่กำหนดไว้ในผนวกนี้ แรงดึงดังกล่าวจะคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$T_2 = T_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

T_1	คือ	แรงดึงในตารางทั้ง 3 ในผนวก
T_2	คือ	แรงดึงที่ต้องใช้กับลวดที่จะใช้ตั้งศูนย์
D_1	คือ	0.12164 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดในตาราง
D_2	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดขนาดอื่นที่จะใช้ตั้งศูนย์เพล

ตัวอย่าง ต้องการใช้ลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 มม. จงหาแรงดึงในลวดโดยมีจุดที่ตรึงลวดห่างกัน 36 ฟุต หรือ 10.87 เมตร

วิธีทำ จากตารางที่ 2 ระยะ 36 ฟุต ต้องใช้แรงดึงเท่ากับ 14.52 กิโลกรัม

$$T_2 = 14.52 \left(\frac{0.6}{0.4164} \right)^2 = 30.15 \text{ kg}$$

ตาราง ค-1

ระยะตกท้องช้างของลวดเป็นมิลลิเมตร

ระยะระหว่างจุดซึ่งลวดหัวท้ายไม่เกิน 30 ฟุต (9.14 เมตร)

แรงดึงในเส้นลวด 30 ปอนด์ หรือเท่ากับ 13.60 กิโลกรัม

[illegible]

ตาราง ค-2

ระยะตกห้องข้างของลวดเป็นมิลลิเมตร

ระยะระหว่างจุดซึ่งลวดหัวท้ายไม่เกิน 32 - 40 ฟุต (9.75 - 12.20 เมตร)

แรงดึงในเส้นลวด 32 ปอนด์ หรือเท่ากับ 14.52 กิโลกรัม

ระยะทางจากปลายลวด		ระยะระหว่างจุดตั้งหัวท้ายของลวด (เมตร)				
ฟุต	เมตร	9.75	10.36	11.97	11.58	12.20
1	0.30	.0889	.0889	.1016	.1016	.1016
2	0.61	.1778	.1905	.2032	.2032	.2032
3	0.91	.2667	.2794	.2921	.3048	.3048
4	1.22	.3429	.3556	.3810	.3937	.4064
5	1.52	.4191	.4318	.4572	.4826	.5080
6	1.83	.4953	.5080	.5334	.5715	.5969
7	2.13	.5588	.5842	.6096	.6477	.6858
8	2.44	.6350	.6604	.6858	.7239	.7620
9	2.74	.6985	.7366	.7620	.8001	.8382
10	3.05	.7493	.8001	.8382	.8763	.9144
11	3.35	.8001	.8509	.9017	.9398	.9906
12	3.66	.8509	.9017	.9525	1.0033	1.0541
13	3.96	.8890	.9525	.9525	1.0668	1.1176
14	4.27	.9271	.9906	1.0541	1.1176	1.1684
15	4.57	.9525	1.0287	1.0922	1.1557	1.2192
16	4.88	.9552	1.0414	1.1176	1.1938	1.2573
17	5.18	-	1.0668	1.1430	1.2192	1.2954
18	5.49	-	-	1.1557	1.2319	1.3208
19	5.79	-	-	-	1.2446	1.3335
20	6.10	-	-	-	-	1.3335

ตาราง ค-3

ระยะตกท้องช้างของลวดเป็นมิลลิเมตร
ระยะระหว่างจุดซึ่งลวดหัวท้ายไม่เกิน 42 - 50 ฟุต (12.8 - 15.24 เมตร)
แรงดึงในเส้นลวด 34 ปอนด์ หรือ Mui0 เท่ากับ 16.74 กิโลกรัม

ระยะทางจากปลายลวด		ระยะระหว่างจุดซึ่งลวดหัวท้ายของลวด (เมตร)				
ฟุต	เมตร	12.8	13.41	14.02	14.63	15.24
1	0.30	.1143	.1270	.1270	.1270	.1397
2	0.61	.2286	.2413	.2413	.2540	.2794
3	0.91	.3302	.3429	.3556	.3810	.4064
4	1.22	.4318	.4572	.4826	.5080	.5334
5	1.52	.5334	.5588	.5842	.6223	.6477
6	1.83	.6223	.6604	.6858	.7239	.7366
7	2.13	.7112	.7493	.7874	.8255	.8636
8	2.44	.8001	.8382	.8890	.9271	.9144
9	2.74	.8763	.9271	.9144	1.0033	1.0414
10	3.05	.9525	1.0033	1.0414	1.0922	1.1303
11	3.35	1.0287	1.0795	1.1176	1.1684	1.2065
12	3.66	1.1049	1.1430	1.1938	1.2446	1.2827
13	3.96	1.1684	1.2065	1.2700	1.3081	1.3462
14	4.27	1.2192	1.2700	1.3208	1.3716	1.4097
15	4.57	1.2700	1.3208	1.3716	1.4224	1.4732
16	4.88	1.3208	1.3716	1.4224	1.4732	1.5240
17	5.18	1.3589	1.4224	1.4732	1.5240	1.5748
18	5.49	1.3970	1.4605	1.5113	1.5494	1.6129
19	5.79	1.4097	1.4859	1.5494	1.5875	1.6510
20	6.10	1.4224	1.5113	1.5748	1.6256	1.6891

ระยะทางจากปลายลวด		ระยะระหว่างจุดตั้งหัวท้ายของลวด (เมตร)				
ชุด	เมตร	12.8	13.41	14.02	14.63	15.24
21	6.40	1.4224	1.5240	1.6002	1.6510	1.7272
22	6.71	-	1.5240	1.6129	1.6764	1.7526
23	7.01	-	-	1.6129	1.6891	1.7653
24	7.32	-	-	-	1.7018	1.778
25	7.62	-	-	-	-	1.7907

สูตรคำนวณระยะตกท้องช้างของเส้นลวด

$$\delta = r^2 \cdot \pi \cdot \frac{\rho \cdot x}{2000 \cdot F} \cdot g$$

เมื่อ

δ = ระยะตกท้องช้างเป็น mm ที่ระยะ x

ρ = ความถ่วงจำเพาะของลวด, $(7860 \frac{kg}{m^3})$

r = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวด, mm

x = ระยะจุดที่ต้องการทราบระยะตกท้องช้าง, m

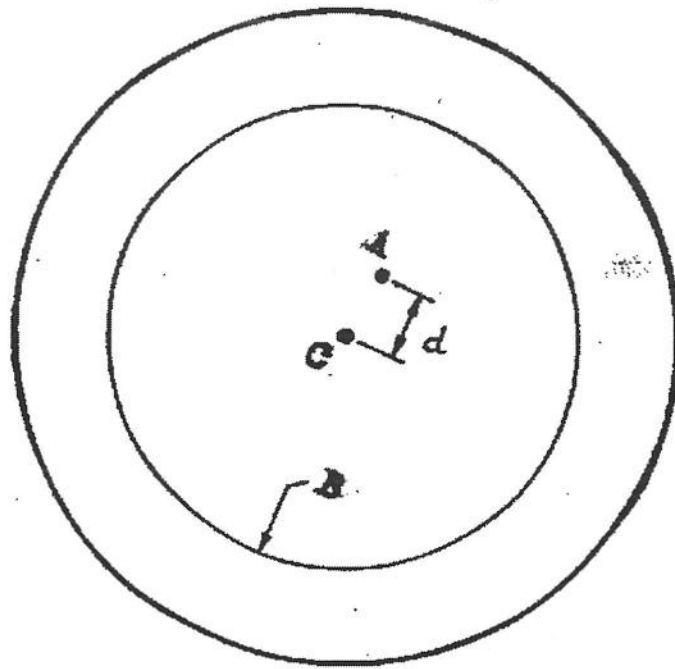
F = แรงดึงของเส้นลวด, N

$g = 9.8066 m/s^2$

ผนวก ง.

อัตราผิดที่ยอมรับได้ของการติดตั้งโยงโย่, แบริ่ง และ Shaft Seal

1. อัตราผิดของการติดตั้ง คือ ระยะทางระหว่างแนวเส้น (หรือแนวเพลลา) กับจุดศูนย์กลางของแบริ่งในโยงโย่ หรือแบริ่งภายในเรือ หรือ Shaft Seal ดังรูป ง-1
2. อัตราผิดของแบริ่งในโยงโย่
เนื่องจากต้องติดตั้งเป้า 2 เป้าที่ด้านหัวและด้านท้ายของแบริ่งในเรือโยงโย่ อัตราผิดของโยงโย่ คือ ระยะทางระหว่างแนวเส้นกับจุดศูนย์กลางของเป้า อัตราผิดของโยงโย่ที่จะต้องควบคุม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
 - อัตราผิดของเป้าแต่ละเป้า
 - อัตราผิดระหว่างเป้า 2 เป้า (ดูรูป ง-2)อัตราผิดของเป้าแต่ละเป้าที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเพลลาใบจักร ตามที่แสดงไว้ในตาราง ง-3
อัตราผิดระหว่างเป้า 2 เป้าใดๆ จะต้องไม่เกิน 0.6 มม. แต่ถ้าเป้าทั้งสองเป็นเป้าที่อยู่ด้านหัวและด้านท้ายของโยงโย่ตัวเดียวกันอัตราผิดจะต้องไม่เกิน 0.2 มม.
3. อัตราผิดของแบริ่งรับเพลลาภายในตัวเรือ ตามรูป ง-1 ต้องมีขนาดไม่เกิน 0.2 มม.
4. อัตราผิดที่ยอมรับได้ของ Shaft Seal มีค่าไม่เกิน 0.1 มม.



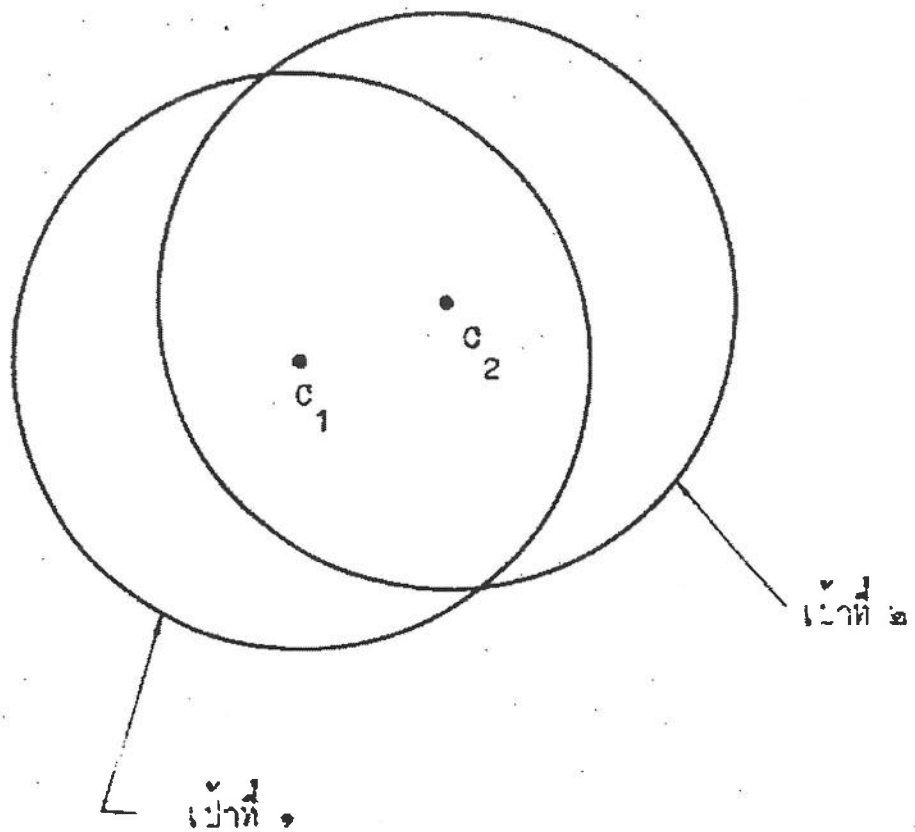
A คือ แฉก

C คือ จุดศูนย์กลางของรูปหน้ากักแบริง

B คือ ผิวภายในของแบริง

d = ระยะทางระหว่างจุด A และ C คือ อัตราบิดของแบริง

รูป ง-1 รูปหน้าตัดของวงกลมแบริงแสดงอัตราบิดของแบริง และ Shaft Seal



เมื่อมองตามแนวเล็งเข้า ๒ เข้าใด ๆ จะปรากฏตามรูปร่างแบบนี้
 C_1 คือ จุดศูนย์กลางของเข้าที่ ๑ C_2 คือ จุดศูนย์กลางของเข้าที่ ๒ ระยะ
 ทางระหว่างจุด C_1 ถึง C_2 ในระนาบนี้คือ อัตราฝึกระหว่างเข้า ๑ เข้า

รูป ง-2 อัตราฝึกระหว่างเข้าสองเข้าใดๆ

ตาราง ง-3
อัตราผิดที่ยอมรับได้ของแบร้งในโยงโย

เส้นผ่าศูนย์กลางของ เหล็ก (มม.)	ไม่เกิน ๑๐๐	มากกว่า ๑๐๐ ไม่เกิน ๒๐๐	มากกว่า ๒๐๐
อัตราผิดที่ยอมรับได้ (มม.)	๐.๒	๐.๓	๐.๕

ผนวก จ.

ตัวอย่างการตรวจสอบศูนย์ใบจักรด้วยเทคนิคพิเศษ

1. กล่าวนำ ตัวอย่างการตรวจสอบศูนย์เพล่าใบจักรด้วยเทคนิคพิเศษที่นำมาเสนอในที่นี้เป็นบันทึกข้อมูลจากการซ่อมปรับปรุงระบบขับเคลื่อนเรือของเรือ ขส.ทร.131 ในห้วงเวลาปลาย พ.ศ.2534

2. ลักษณะของการซ่อมทำ

2.1 เรือ ขส.ทร. เข้ารับการดัดแปลงระบบการขับเคลื่อนเรือโดยการติดตั้งเกียร์ (การออกแบบดั้งเดิมนั้นเครื่องจักรใหญ่ขับเคลื่อนเพล่าใบจักรโดยตรงแบบ RIGID COUPLING) การปฏิบัติจะต้องตัดเพล่าใบจักรให้สั้นลงติดตั้งเกียร์ทดถอนแบร้งกันรุนของเดิม และติดตั้ง ELASTIC COUPLING ระหว่างเกียร์และเครื่องจักรใหญ่โดยจะต้องให้ได้ศูนย์เพล่าและศูนย์เกียร์ที่ดี และไม่ต้องยกเครื่องจักรใหญ่

2.2 จากการตรวจสอบเพล่าใบจักรพบว่า เพล่าเดิมมี 4 ท่อน ตามรูป จ-1 คือ ท่อนที่ 1 ต่อจากเครื่องจักรใหญ่และท่อนที่ 4 เป็นส่วนอยู่ในกระบอกตีฟุตและติดใบจักร เพล่ามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5" ตลอดความยาวเนื่องจากเรือลำนี้มีอายุมากและประจำการมานานแล้ว ทำให้ไม่มีข้อมูลของรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะและจำนวนของแบร้งที่อยู่ในกระบอกตีฟุต หลังจากตรวจสอบที่ กผ.ช.ร. แล้วไม่ปรากฏว่ามีแบบเกี่ยวกับระบบเพล่าใบจักรของเรือลำนี้

2.3 ตามแบบของการดัดแปลงที่แสดงในรูป จ-2 เพล่าใบจักรจะมีความยาวลดลงโดยต้องถอดท่อนที่ 1 ออกและนำท่อนที่ 2 ไปติดให้ความยาวลดลงเหลือ 77 ซม. ก่อนการเข้าดัดแปลงมีรายงานว่าใบจักรอาจได้ฟันของแข็งได้น้ำมาก่อน จึงต้องมีการตรวจสอบว่าเพล่าทุกท่อนมีการโค้งงอแบบถาวรหรือไม่ โดยถอดเพล่าท่อนที่ 2 และ 3 ไปตรวจในโรงงาน ส่วนที่ 4 ตรวจสอบโดยการติดตั้งไดแอลอินดิเคเตอร์ 2 ตัว ตามรูป จ-3 เมื่อหมุนเพล่าไปจนครบ 360° ไม่พบว่า RUN OUT แสดงว่าเพล่าท่อนที่ 4 ไม่คด สามารถใช้งานต่อไปได้

2.4 ปัญหาที่คือจะติดตั้งเพล่า และเกียร์อย่างไรจึงจะได้ศูนย์ที่ดี

3. การคำนวณ

เพล่าท่อนที่ 3 และ 2 เมื่อต่อกับเพล่าท่อนที่ 4 แล้วถือว่าเป็นเพล่าท่อนเดียวกันมีความยาวจากใบจักรไปจนถึงหน้าแปลนเกียร์ ส่วนเพล่าส่วนที่อยู่ในกระบอกตีฟุตนั้นไม่ทราบว่แบร้งในกระบอกตีฟุตมีความยาวตลอดกระบอกตีฟุต เส้นโค้งของเพล่าในส่วนที่ยื่นออกมาจะมีลักษณะดังรูป จ-4 กล่าวคือมีมุมที่ปากกระบอกตีฟุตเท่ากับศูนย์องศาในรูปดังกล่าว W คือ น้ำหนักของเพล่าต่อหน่วยความยาว R_2 คือ น้ำหนักของเพล่าที่ฝากไว้กับหน้าแปลนของเกียร์ แต่ถ้าแบร้งในกระบอกตีฟุตเป็นแบร้งท่อนสั้น เส้นโค้งของเพล่าจะเป็นดังรูป จ-5

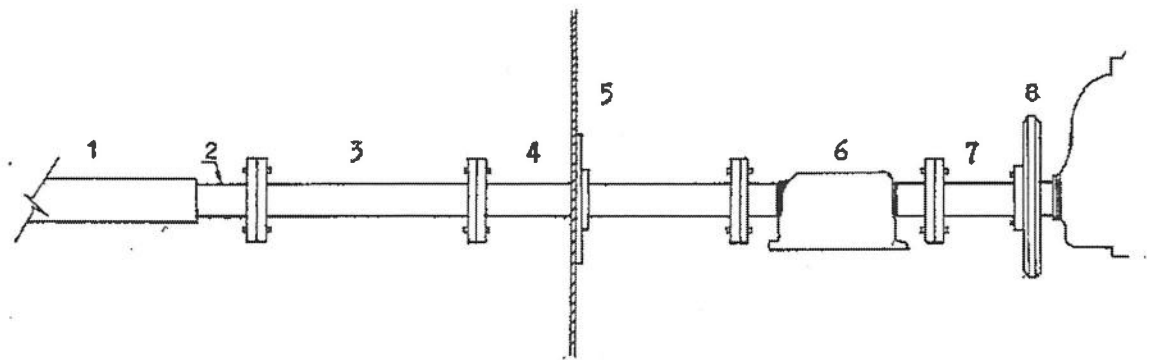
จากการคำนวณพบว่า สำหรับกรณีรูป จ-4 R_2 จะมีค่าเท่ากับ 143 กิโลกรัม ส่วนรูป จ-5 ค่าของ R_2 มีค่าเท่ากับ 193 กิโลกรัม เนื่องจากความแตกต่างของค่า R_2 สำหรับสองกรณีนี้มีค่าน้อยมาก จึงกำหนดให้ใช้ค่า R_2 เป็นค่าตรวจสอบการตั้งศูนย์ กล่าวคือ ใช้แม่แรงยกปลายเพล่าที่บริเวณหน้าแปลนขึ้นเมื่อพบว่าแรงกดแม่แรงมีค่าอยู่ระหว่าง 143 ถึง 193 กิโลกรัม ถือว่าตำแหน่งนั้นถูกต้องให้นำเกียร์เข้าต่อกับเพล่าได้

ในด้านความเค้นในเพล่านั้นได้คำนวณเฉพาะกรณีของรูป จ-4 เนื่องจากค่าความเค้นจะสูงกว่ากรณีรูป จ-5 จากการคำนวณพบว่าค่าสูงสุดของโมเมนต์ดัดเกิดที่ปากกระบอกตีฟุต โดยที่ค่าความเค้นเท่ากับ 1.23 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร

4. การตรวจสอบศูนย์หลังการติดตั้ง

ในการปฏิบัติจริงได้ใช้แม่แรงวัดแรงกดที่ปลายเพล่าได้ 160 กิโลกรัม เมื่อร้อยสลักต่อหน้าแปลนเกียร์เข้ากับหน้าแปลนของเพล่าแล้วทดลองหมุนเพล่าแล้วใช้ Strain Gauge วัด Strain ที่ปากกระบอกตีฟุต เมื่อคำนวณเป็นความเค้นแล้วได้ค่าเท่ากับ 0.67 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อเทียบกับ YIELD STRENGTH ของวัสดุ

ทำเพลลา (คือ เหล็ก SAE 1045) ซึ่งเท่ากับ 50 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร แล้วมีความปลอดภัย (Safety Margin) สูงมาก



๑ กระจับอกคี่ฟุก

๒ เพลลาท่อนที่ ๔

๓ เพลลาท่อนที่ ๓

๔ เพลลาท่อนที่ ๒

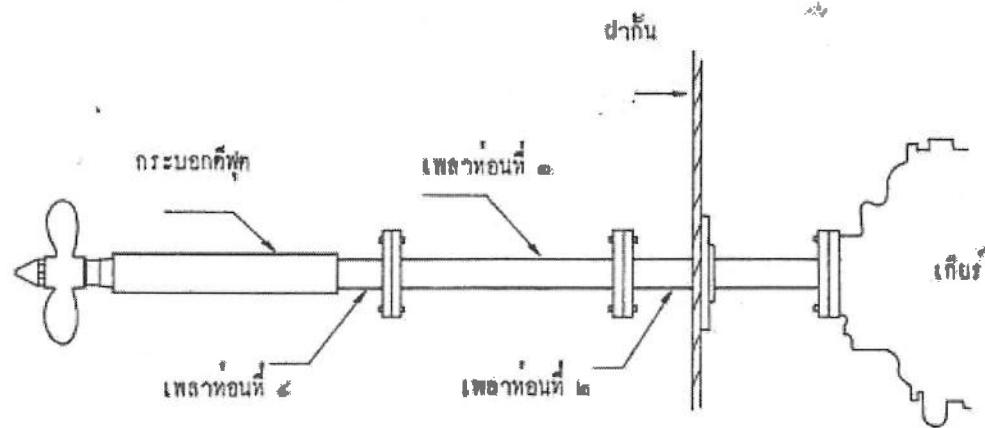
๕ ฝาถัก

๖ แบร้งกันรุน

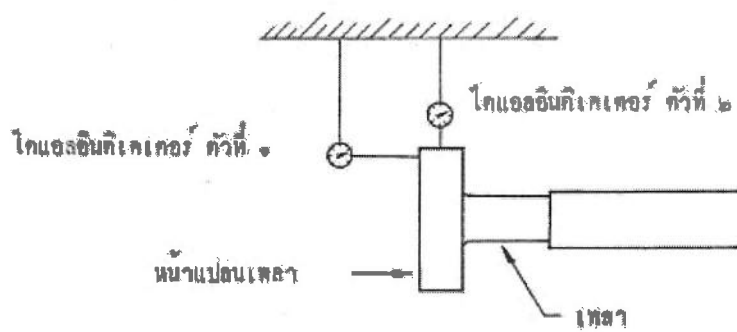
๗ เพลลาท่อนที่ ๑

๘ FLYWHEEL เครื่องจักรใหญ่

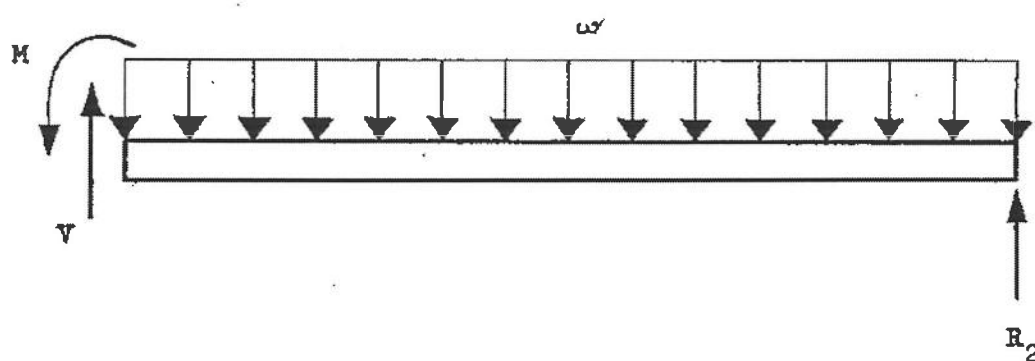
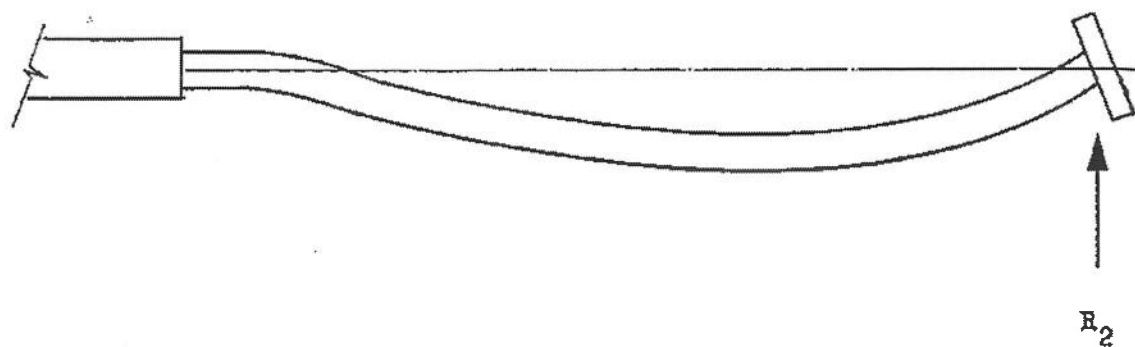
รูป ๑-๑ SHAFT ARRANGEMENT ก่อนการดัดแปลง



รูป ๑-๒ การกักแบ่ง SHAFT ARRANGEMENT



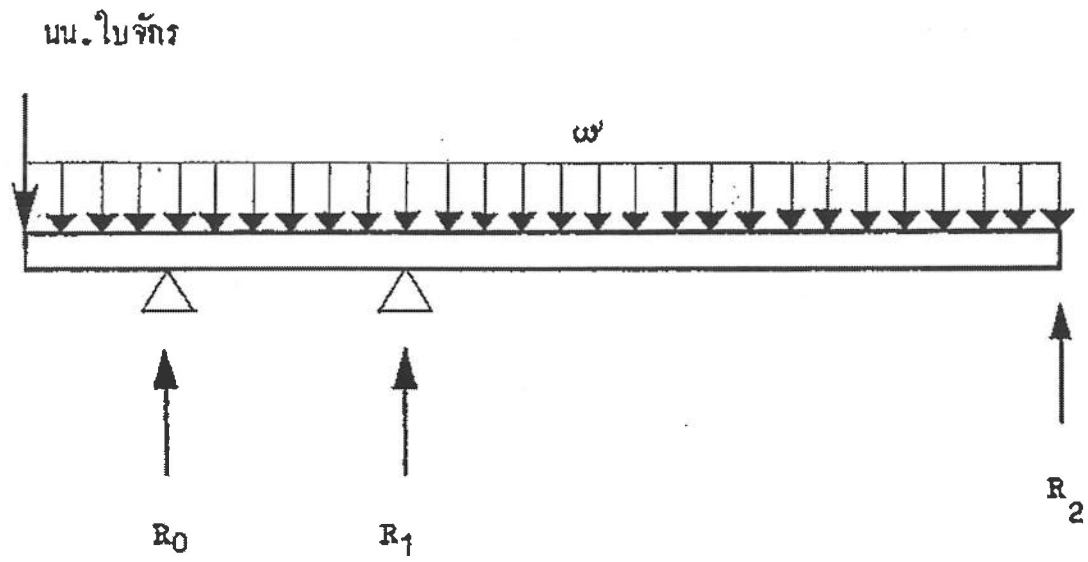
รูป ๑-๓ การตรวจสอบความโค้งของเพลลา



M = โมเมนต์กักที่มากกระบอกค้ำ

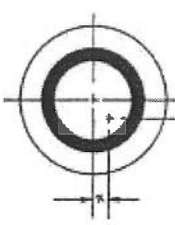
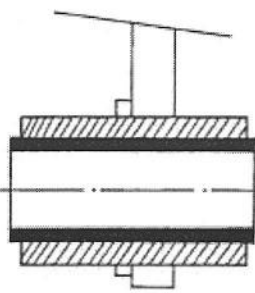
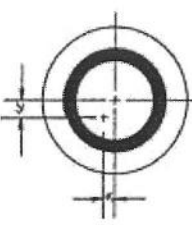
V = แรงเฉือนในเพลลาที่ปากกระบอกค้ำ

รูป ๑-๔ กรณีที่กระบอกค้ำมีแบริงตลอดความยาว



R_0, R_1 = แรงปฏิกิริยาของแบร็งที่อยู๋ในกระบอกลีฟท์

รูป จ-๕ กรณีที่กระบอกลีฟท์มีแบร็งช่วงสั้นอยู่ภายใน

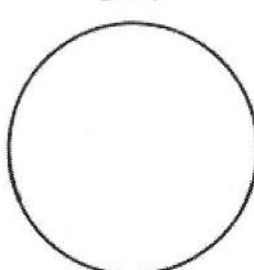
การติดตั้งเพลาลูกเบี้ยว และระบบขับเคลื่อนเรือ		แบบบันทึกการติดตั้งแบบวิ่ง		ร.ด. _____ เพลาลูกเบี้ยว ☐ ขวา ☐ ซ้าย แบบวิ่ง _____		
ท้ายเรือ   หัวเรือ  ขนาด : มม.						
รายการตรวจสอบ		ระยะยึดศูนย์ท้ายเรือ		ระยะยึดศูนย์หัวเรือ		หมายเหตุ
		แกน X	แกน Y	แกน X	แกน Y	
ระยะหัวลูกเบี้ยว	Port					
	Stbd					
เกณฑ์กำหนด						
หมายเหตุ						
ผู้ตรวจสอบ			วันที่			
หน.นายช่าง			วันที่			

การตั้งศูนย์เฟลาและ ระบบขับเคลื่อนเรือ	แผนบันทึกค่า ☐ SAC ของหน้าแปลน ☐ GAP ของหน้าแปลน	ร.ล. _____ เฟลา ☐ ขวา ☐ ซ้าย ☐ เฟลา-เกียร์ ☐ เกียร์-เครื่องจักรใหญ่
---	--	--

ค่าตัวถัง

T = 0

P =



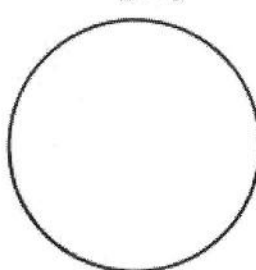
S =

B =

ค่าจากการคำนวณ

T = 0

P =



S =

B =

หมายเหตุ รูปนี้มองไปทางหัวเรือ

อัตราวัดทางก้าน P,S = _____ มม.

อัตราวัดที่ยอมรับได้ = _____ มม.

อัตราวัดทางก้าน T,B = _____ มม.

อัตราวัดที่ยอมรับได้ = _____ มม.

จุดพบในบริเวณหัวกั้วเลข _____ องศาเซตเซียส

แสงแตกสอง ☐ ถวายขวา ☐ ถวายซ้าย ☐ ทากฟ้า MAINDECK

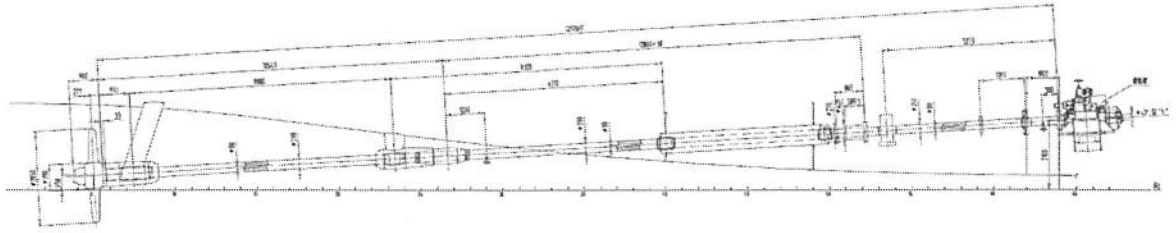
☐ ไม่มีแสงแตก

วันที่ตรวจสอบ _____ เวลาตรวจสอบ _____	ลงนาม _____ หัวหน้าช่างโรงงาน
--	---

อนุผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการตั้งศูนย์เพลลา

1. ข้อมูลระบบเพลลาใบจักร ร.ล.นราธิวาส



รูป ก - 1 แผนผังระบบขับเคลื่อน

ค่าระยะยกทางตั้งของแบริ่งจากผู้ออกแบบ

แบริ่ง	แบริ่งโยงโย่ตัวท้าย	แบริ่งโยงโย่ตัวหัว	แบริ่งกระบอกดีฟุต	Intermediate แบริ่ง
ระยะยกของแบริ่ง (mm)	+0.625	+0.57	+0.57	+0.12

2. ผลลัพธ์

ค่าแรงปฏิกิริยาเส้นตรง

	แบริ่งโยงโย่ตัวท้าย(R01)	แบริ่งโยงโย่ตัวหัว(R02)	แบริ่งกระบอกดีฟุต(R03)	Intermediate แบริ่ง(R04)	แบริ่งท้ายเกียร์(R05)
Straight – Line Reaction Forces, R0i (kN)	56.1236	44.6205	42.0612	25.5926	13.6299

ค่าอิทธิพลของการยกตัวของแบริ่ง

RIN Matrix(kN/mm)	I1	I2	I3	I4	I5
I1	0.19741	-0.405703	0.295081	-0.106235	0.0194476
I2	-0.405703	0.964783	-0.968283	0.5009	-0.091696
I3	0.295081	-0.968283	1.71469	-1.56785	0.526368
I4	-0.106235	0.5009	-1.56785	2.10785	-0.934661
I5	0.0194476	-0.091696	0.526368	-0.934661	0.480541

สำหรับเรือชุด ร.ล.นราธิวาส นั้น หากใช้ค่าระยะยกของแบริ่งจากผู้ออกแบบเรือ แรงปฏิกิริยาที่แบริ่งจะมีค่าดังนี้

	แบร้งโยงโย่ตัว ท้าย	แบร้งโยงโย่ ตัวหัว	แบร้งกระบอก ดีฟุต	Intermediate แบร้ง	แบร้งท้าย เกียร์
Raised - Up Reaction Forces (kN)	56.1712	44.425	42.483	25.171	13.7777

โดยสามารถนำค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้นี้ ใช้เป็นค่าอ้างอิงในการตรวจสอบศูนย์เพลลาต่อไปได้

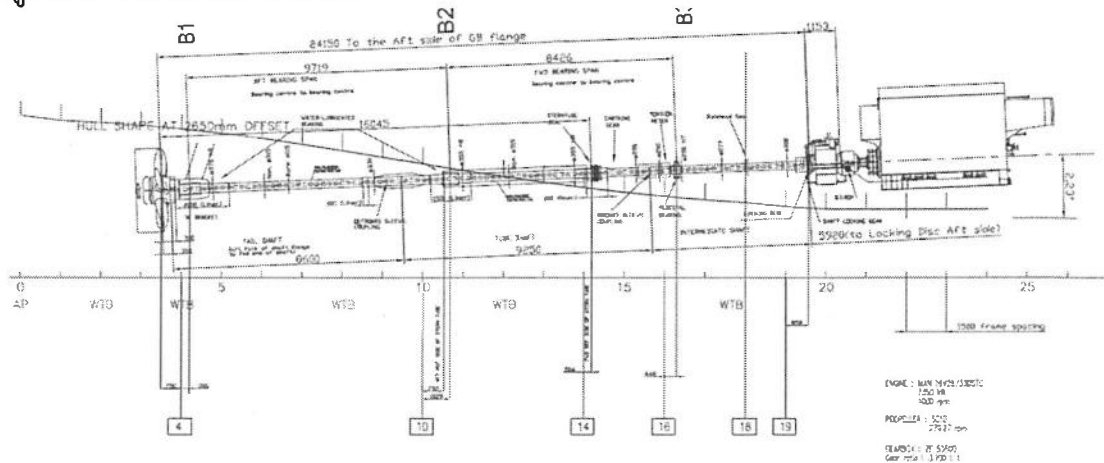
การทำ Jack's Load Measurement

- ตำแหน่ง Hydraulic Jack: ห่างจากจุดกึ่งกลางของ Intermediate Bearing ไปทางหัวเรือเป็นระยะ 350 mm
- Correction Factor: 0.9575
- Jack Load (cold condition): 41.459 kN

อนุผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการตั้งศูนย์เพลลา

3. ข้อมูลระบบเพลลาใบจักร ร.ล.กระบี่



รูป ข - 1 แผนผังระบบขับเคลื่อน

ค่าระยะยกทางดิ่งของแบร้งจากผู้ออกแบบ

แบร้ง	แบร้งโยงโย่	แบร้งกระบอก ตีฟุต	Intermediate แบร้ง	แบร้งท้ายเกียร์	แบร้งหัวเกียร์
ระยะยกของ แบร้ง (mm)	0.00	+0.05	0.00	-1.30	-1.30

4. ผลลัพธ์

ค่าแรงปฏิกิริยาเส้นตรง

	แบร้งโยงโย่ (R01)	แบร้งกระบอก ตีฟุต(R02)	Intermediate แบร้ง(R03)	แบร้งท้าย เกียร์(R04)	แบร้งหัว เกียร์(R05)
Straight – Line Reaction Forces, R0i (kN)	4.006	-11.644	4.149	-4.713	3.355

ค่าอิทธิพลของการยกตัวของแบร้ง

RIN Matrix(kN/mm)	I1	I2	I3	I4	I5
I1	0.205	-0.499	0.437	-0.498	0.354
I2	-0.499	1.451	-1.867	3.178	-2.263
I3	0.437	-1.867	4.881	-18.286	14.835
I4	-0.498	3.178	-18.286	108.204	-92.598
I5	0.354	-2.263	14.835	-92.598	79.671

สำหรับเรือชุด ร.ล.กระบี่ นั้น หากใช้ค่าระยะยกของแบร้งจากผู้ออกแบบเรือ แรงปฏิกิริยาที่แบร้งจะมีค่าดังนี้

	แบร้งโยงโย่	แบร้งกระบอก ดีฟุต	Intermediate แบร้ง	แบร้งท้ายเกียร์	แบร้งหัวเกียร์
Raised - Up Reaction Forces (kN)	45.201	61.801	40.612	8.617	7.544

โดยสามารถนำค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้นี้ ใช้เป็นค่าอ้างอิงในการตรวจสอบศูนย์เพลลาต่อไปได้

การทำ Jack's Load Measurement

- ตำแหน่ง Hydraulic Jack: ห่างจากจุดกึ่งกลางของ Intermediate Bearing ไปทางหัวเรือเป็นระยะ 350 mm
- Correction Factor: 0.9575
- Jack Load (cold condition): 41.459 kN

การแจกจ่าย

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
กพช.อร.		
จก.กพช.อร.	1	
ผ.วิชาการ กวจพ.กพช.อร.	1	
ห้องสมุด กวจพ.กพช.อร.	5	
กคภ.กพช.อร.	2 (รวมต้นฉบับ)	
กผช.อร.		
กผงร.กผช.อร.	1	
กอร.กผช.อร.	1	
กอก.กผช.อร.	1	
กอฟ.กผช.อร.	1	
อธบ.อร.		
กผป.อธบ.อร.	1	
กงน.อธบ.อร.	1	
อจปร.อร.		
ห้องสมุด อจปร.อร.	3	
กพ.อจปร.อร.		
คป.อจปร.อร.		
กผป.อจปร.อร.	1	
กพท.อจปร.อร.		
กอบ.อจปร.อร.	1	
กพด.อจปร.อร.	1	
กคภ.อจปร.อร.	1	
กขส.อจปร.อร.		
กรก.อจปร.อร.	1	
กรล.อจปร.อร.	1	
กบต.อจปร.อร.	1	
กบก.อจปร.อร.		

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
อรม.อร.		
กจก.อรม.อร.	1	
กพ.อรม.อร.	1	
กบ.อรม.อร.	1	
กผป.อรม.อร.	1	
กคภ.อรม.อร.	1	
กรก.อรม.อร.	1	
กรล.อรม.อร.	1	
กพฟ.อรม.อร.	1	
กสน.อรม.อร.		
กพด.อรม.อร.		
กรง.ฐท.สส.		
กผกช.กรง.ฐท.สส.	1	
กงน.กรง.ฐท.สส.	1	
ฐท.สข.		
กงน.ฐท.สข.	1	
ฐท.พง.		
กงน.ฐท.พง.	1	