



มอร. 200 - 0002 - 0365

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือ
(Vibration Analysis)

แก้ไขครั้งที่.....๑..... เมื่อ ก.ค.๖๕.....
แก้ไขครั้งที่..... เมื่อ.....
แก้ไขครั้งที่..... เมื่อ.....

วันรับหนังสือ..... 21 0ย. 65.....
เลขทะเบียน..... 8838.....
เลขหนังสือ..... 200-0002-0365.....



ประกาศกรมอุทหาเรือ
เรื่อง กำหนดมาตรฐานงานช่าง กรมอุทหาเรือ

อาศัยอำนาจความในข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๒ แห่งระเบียบกรมอุทหาเรือ ว่าด้วยมาตรฐานงานช่าง พ.ศ.๒๕๕๑ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอุทหาเรือ จึงกำหนดมาตรฐานงานช่าง กรมอุทหาเรือ หมายเลข มอ. ๒๐๐ - ๐๐๐๒ - ๐๓๖๕ เรื่อง การวิเคราะห์การสันสะเทือนในเรือ ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๑๑ มีนาคม พ.ศ.๒๕๖๕

พลเรือตรี

(เกื้อกุล กลิ่นเอี่ยม)

เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอุทหาเรือ

รายการแก้ไข

หมายเลขหน้า

การแก้ไขครั้งที่

๓	๑
๘	๑
๙ - ๑๕	๑
๒๓	๑
๒๖ - ๒๘	๑
๓๐	๑
๓๔ - ๓๕	๑
๔๒	๑
๔๖	๑
๔๘	๑

บันทึกการแก้ไข

วัน เดือน ปี	รายการแก้ไข
๓๑ ก.ค.๖๔	๑. เพิ่มเติมข้อความ “หรือหลักสูตรของหน่วยงานที่จัดฝึกอบรม ตนเอง” ในหัวข้อ ๖.๓.๑ และ ๖.๓.๒ ๒. เพิ่มเติมข้อความในหัวข้อ ๖.๔ เจาะไขในการตรวจวัด ๓. แก้ไขข้อความในหัวข้อ ๖.๕.๑ ให้เป็นปัจจุบัน และตัดข้อความ เกี่ยวกับตารางบันทึกข้อมูล และแบบฟอร์มรายงานผลการ ตรวจวัดออก ๔. เพิ่มเติมข้อความ “รวมทั้งเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบบ V-Type” ในหัวข้อ ๘.๓.๒ ๕. เพิ่มเกณฑ์การสันสะเทือนสำหรับใบจักรประเภท Voith Schneider, Mechanical Azimuth Drive (Schottel), Transverse Thruster และระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Propulsion Motors) ในหัวข้อ ๘ เกณฑ์มาตรฐาน สำหรับเครื่องจักรกล ๖. แก้ไขเกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในหัวข้อ ๙ เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ๗. เพิ่มเติมเกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือในหัวข้อ ๑๐ เกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือ ๘. แก้ไขผนวก ก.เอกสารอ้างอิงใหม่ ๙. เพิ่มเติมรูปภาพในผนวก ข.ตำแหน่งของการตรวจวัด ๑๐. แก้ไขรายละเอียดในผนวก ง.การกำหนดคำย่อ และการรายงาน ผล สำหรับการตรวจวัดการสันสะเทือน

มอร. 200 – 0002 – 0365
การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือ
(Vibration Analysis)

1. เอกสารอ้างอิง

ดูจากรายการ ผนวก ก

3. ความมุ่งหมาย

4. ขอบเขต

5. กล่าวนำ

การวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนในเรือมีความสำคัญต่อการซ่อมบำรุงเรือ เนื่องจากการตรวจสอบโดยวิธีวัดค่าการสั่นสะเทือนเป็นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสถานะทางพลวัต (Dynamic) ของเครื่องจักรกล อุปกรณ์และตัวเรือเพื่อเป็นการวิเคราะห์แนวโน้ม และการวิเคราะห์เพื่อการแก้ไข ของการชำรุดของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอดีตการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนใช้มาตรฐานสากลที่มีอยู่ในขณะนั้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน และต่อมาองค์ควบคุมคุณภาพ อจปร.อร. (น.อ.เศวตนันท์ ประยูรรัตน์) ซึ่งมีหน้าที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนในเรือของ อร. ได้กำหนดเกณฑ์การวัดการสั่นสะเทือนเพื่อใช้ในการประเมินสภาพของเครื่องจักรกลขึ้นเมื่อปี พ.ศ.๒๕๓๘ และได้ใช้งานแพร่หลายภายใน อร. โดยเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปจนสามารถนำมาใช้เป็นข้อกำหนดได้ในระดับหนึ่ง แต่เกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวก็ยังไม่ครอบคลุมกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเรือทั้งหมด รวมทั้งในบางกรณีเกิดการขัดแย้งกับเกณฑ์มาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกำหนดไว้สำหรับเครื่องจักรนั้นๆ ทำให้ประสบกับปัญหาที่ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรไม่สามารถตัดสินได้ว่าผ่านตามเกณฑ์หรือไม่ ซึ่งเป็นข้อขัดข้องที่พบในงานควบคุมคุณภาพการสร้างและซ่อมเรือของ อร.

ในฐานะที่ อร. เป็นหน่วยงานรับผิดชอบงานด้านการสร้างและซ่อมบำรุงเรือของ ทร. รวมทั้งมีหน่วยเทคนิคที่รับผิดชอบในการตรวจวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือ อร. จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานการวิเคราะห์เกณฑ์ค่าการสั่นสะเทือนเพื่อใช้งานภายใน ทร. โดยเกณฑ์ดังกล่าวต้องมีความเหมาะสมและสอดคล้องตามมาตรฐานสากลต่างๆ ไปที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งในการจัดทำมาตรฐาน ฯ นี้ อร.ได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำร่างมาตรฐานการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือขึ้น โดยเชิญผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ความสามารถ และมีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานด้านการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน รวมทั้งได้รวบรวมและแปลเรียบเรียงเอกสารตามความเหมาะสม โดยอ้างอิงจากมาตรฐานที่มีใช้อยู่ในระดับสากล เช่น Technical Report ของ Det Norske Veritas (DNV), International Organization for Standardization (ISO) และ Military Standard (MIL-STD) เป็นต้น สำหรับมาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนในเรือที่ได้จัดทำขึ้น

ฉบับนี้ได้กล่าวถึงเกณฑ์กำหนดสำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของสถานที่และอุปกรณ์ที่อยู่ภายในเรือ ประกอบด้วยการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ ห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน เครื่องจักรกลต่าง ๆ ตลอดจนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งภายในเรือ ซึ่งการกำหนดเกณฑ์ค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวสามารถเสนอขอทบทวนได้ตามความเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องตามข้อกำหนดต่าง ๆ และเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอๆ ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนในเรือฉบับนี้ จะเป็นเอกสารคู่มือที่สามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรกล และผลการซ่อมทำของหน่วยเทคนิคให้มีความถูกต้อง เป็นไปตามมาตรฐานสากล อันจะนำมาซึ่งความมั่นใจให้แก่หน่วยงานต่าง ๆ ที่ อร. ให้การสนับสนุนต่อไป

6. การตรวจวัด และการวิเคราะห์

ในการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนนั้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนต้องเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่ค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้ (Signal) ต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถทำการวิเคราะห์แบบ Fast Fourier Transform (FFT) ได้ หรือโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่ปฏิบัติงานบนเครื่องคำนวณ (PC-Based) ซึ่งโดยปกติแล้วผลการวิเคราะห์จะแสดงในรูปของกราฟสองมิติ ที่มีแกนในแนวนอนแสดงค่าความถี่ (Frequency Axis) และแกนในแนวตั้งแสดงค่าขนาด (Amplitude) ของ Spectrum

6.1. เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์

6.1.1. เครื่องมือต้องได้รับการปรับเทียบให้ถูกต้องตามเกณฑ์ก่อนการใช้งาน

6.1.2. หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดให้ใช้ระบบ เมตริกซ์

6.1.2.1. ระยะทาง (Displacement) ให้ใช้หน่วย มิลลิเมตร (mm)

6.1.2.2. ความเร็ว (Velocity) ให้ใช้หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s)

6.1.2.3. ความเร่ง (Acceleration) ให้ใช้หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (mm/s²)

6.1.3. ในการวิเคราะห์ช่วงคลื่นต้องใช้ Window Function ที่สามารถให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะแสดงค่าสูงสุดในแต่ละยอดสัญญาณได้ ซึ่งโดยปกติแล้ว Window Function ที่ใช้งานมีอาทิเช่น Flat Top Window, Hanning Window สำหรับในการตรวจวัดถ้ามิได้กำหนดเป็นกรณีพิเศษแต่อย่างใดแล้ว ให้ใช้ Hanning Window ในการวิเคราะห์ช่วงคลื่น

6.1.4. ค่าความละเอียดในการตรวจวัด ต้องใช้ค่าความละเอียดของเครื่องตรวจวัดไม่น้อยกว่า 400 เส้น และย่านความถี่ต้องครอบคลุมความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ และส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องจักรที่ตรวจวัด

6.1.5. ช่วงเวลาในการตรวจวัดแต่ละตำแหน่งต้องใช้เวลาเพียงพอที่จะตรวจวัดได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องของค่าการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งนั้น โดยปกติแล้วจะใช้เวลาในการตรวจวัดไม่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

6.2. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัด

6.2.1. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต้องผ่านการทำงานในช่วงทดสอบเรียบร้อยแล้ว

6.2.2. พื้นผิวที่จะใช้ในการตรวจวัดต้องผ่านการเตรียมการให้เหมาะสมกับการติดตั้งหัวตรวจวัด ดังที่ระบุในคู่มือใช้งานของหัวตรวจวัดประเภทต่างๆ ที่จะใช้งาน

6.2.3. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต้องผ่านการทำสมดุล (Balancing) และการตั้งศูนย์ (Alignment) ตามมาตรฐานสากล หรือตามที่กำหนดไว้โดยบริษัทผู้ผลิตให้เรียบร้อยก่อนการตรวจสอบ และวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน

6.2.4. ในกรณีที่มีการปฏิบัติแตกต่างจากข้อปฏิบัติในมาตรฐานนี้ ต้องจดบันทึกรายละเอียดต่างๆ ไว้เพื่อการตรวจสอบในภายหลัง

6.3. บุคลากรในการตรวจวัด

6.3.1. ผู้ปฏิบัติงานในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน ต้องผ่านการฝึกอบรมตามหลักสูตรของกรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือด้วยเกณฑ์ที่กำหนด หรือหลักสูตรของหน่วยงานที่จัดฝึกอบรมขึ้นเอง หรือมาตรฐานการฝึกอบรมอื่นๆ ที่เทียบเท่า หรือดีกว่า

6.3.2. ผู้ทำการวิเคราะห์ผลค่าการสั่นสะเทือน ต้องผ่านการฝึกอบรมตามหลักสูตรของกรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือด้วยเกณฑ์ที่กำหนด หรือหลักสูตรของหน่วยงานที่จัดฝึกอบรมขึ้นเอง หรือมาตรฐานการฝึกอบรมอื่นๆ ที่เทียบเท่า หรือดีกว่า

6.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

6.4.1. การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัดให้กระทำเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วคงที่

6.4.2. ระวังขับน้ำต้องเป็นระวางขับน้ำปกติของเรือ

6.4.3. ในการเดินเรือต้องเดินหน้าในลักษณะไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งขณะที่ตรวจวัดต้องใช้หางเสือในอัตราที่มุม 0 องศา ± 2 องศา (ใช้หางเสือให้น้อยที่สุด)

6.4.4. เดินเรือที่รอบเครื่องยนต์เดินคงที่

6.4.5. การตรวจสอบต้องกระทำในทะเลเรียบ (Quiet Sea) ถ้าเรือมีขนาดเล็ก (ความยาวไม่เกิน 25 เมตร) ให้ตรวจวัดที่สภาพของทะเลที่ Sea State 1 ถ้าหากเรือมีความยาวน้อยกว่า 100 เมตร ให้ตรวจวัดที่สภาพของท้องทะเลที่ Sea State 2 หรือน้อยกว่า และให้ตรวจวัดที่สภาพของท้องทะเลที่ Sea State 3 หรือน้อยกว่า สำหรับเรือที่มีความยาวมากกว่า 100 เมตร หากไม่สามารถดำเนินการได้ให้ใส่หมายเหตุข้อจำกัดไว้ในรายงานผลการตรวจวัดด้วย

6.4.6. การตรวจวัดการสั่นสะเทือนต้องตรวจวัดในบริเวณที่มีความลึกไม่ต่ำกว่าห้า (5) เท่าของอัตราการกินน้ำลึกของเรือที่ระวางขับน้ำปกติ

6.4.7. ในการปฏิบัติที่แตกต่างไปจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ที่ทำการตรวจวัดต้องบันทึก และระบุอย่างชัดเจนในรายงานการตรวจสอบ

6.5. รูปแบบการเก็บข้อมูล

6.5.1. การควบคุมข้อมูล ให้เป็นไปตามระเบียบว่าด้วยการรักษาความลับของทางราชการ พ.ศ.2544 ระเบียบว่าด้วยการรักษาความลับของทางราชการ (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2561 และระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

6.5.2. การเก็บรวบรวมข้อมูลของหน่วยตรวจวัด และวิเคราะห์ให้ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยแยกเป็นข้อมูลของเรือแต่ละลำให้เด่นชัด โดยใช้ประเภทและหมายเลขประจำเรือแต่ละลำแทนชื่อเรือที่ตรวจวัด เช่น ร.ล.กระบือเป็นเรือฟรีเกต (FF) มีหมายเลขประจำเรือคือ 457 ให้ใช้ FF457 แทนชื่อเรือกระบือ เพื่อให้ง่าย

และสะดวกต่อการค้นหา สำหรับเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเรือให้ใช้คำย่อตามที่ปรากฏอยู่ใน ผนวก.ง. แทนอุปกรณ์นั้นๆ แล้วตามด้วยหมายเลขในกรณีที่มีเครื่องจักรนั้นๆ มากกว่า 1 เครื่องสำหรับคำย่อที่จะใช้แทนตำแหน่งของการตรวจวัด ให้ดำเนินการตามรายละเอียดในผนวก.ง.

6.5.3. ข้อมูลที่สำคัญ และใช้กรอกในรายงานอาจจะเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูลประเภทต่างๆ เพื่อแสดงผลทางระบบเครือข่ายได้ ทั้งนี้ข้อมูลที่เป็นรายงานต้องเก็บรักษาไว้ ณ หน่วยที่ทำการตรวจสอบ และวิเคราะห์เป็นเวลา 2 (สอง) ปี จึงจะพิจารณาดำเนินการต่อไป ส่วนข้อมูลที่เป็นค่าการตรวจวัดนั้น ให้ทำการบันทึกสำรองข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ทุก ๆ 1 (หนึ่ง) ปี แล้วเก็บรักษาไว้เพื่อการตรวจสอบ เปรียบเทียบ และประเมินผลในอนาคต

6.6. นิยามศัพท์

6.6.1. Simple Harmonic การเคลื่อนที่ที่เป็นไปตาม Sine Function

6.6.2. Amplitude, displacement ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตร (มม., mm)

6.6.3. Amplitude, Velocity ค่าขนาดความเร็วสูงสุดของการสั่นสะเทือน ของการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที (มม./วินาที, mm/s)

6.6.4. ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ความถี่ของระบบที่เกิดขึ้นโดยลักษณะและวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นอุปกรณ์นั้น ๆ โดยไม่มีแรงหรือมีแรงภายนอกมากระทำแต่ ไม่กระทำอย่างต่อเนื่องกับระบบนั้น ๆ

ความถี่ธรรมชาตินี้อาจจะสามารถคำนวณได้โดยสมการ $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $f_n = \frac{60}{2\pi} \omega_n$ โดยที่

ω_n คือความถี่ธรรมชาติในหน่วย เรเดียนต่อวินาที (Radian/sec)

f_n คือความถี่ธรรมชาติในหน่วย เฮิรท์ (Hz)

k คือค่าความแข็งแรง (Stiffness) ของระบบหรืออุปกรณ์นั้น ๆ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)

m คือน้ำหนักของระบบหรืออุปกรณ์นั้น มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

6.6.5. Resonance ปรากฏการณ์กำเริบ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อุปกรณ์นั้นๆ ถูกกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยที่แรงที่มากกระตุ้น (Excitation Force) นั้นมีความถี่ในการกระตุ้นมีค่าใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์นั้นๆ และทำให้ขนาดการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์มีค่าเข้าสู่นันต์ (Infinity, ∞) ตามหลักทฤษฎี

6.6.6. ค่าสูงสุด (Peak Value) ค่า Amplitude สูงสุดของการเคลื่อนที่, ความเร็ว หรือ ความเร่ง

6.6.7. ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Means Square Value: r.m.s.) ขนาดของการเคลื่อนที่, ความเร็ว หรือ ความเร่ง ที่สามารถคำนวณได้จากรากที่สองของค่านั้น ๆ กำลังสองเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จาก ผนวก.ค.

6.6.8. แนวแกน (Axial) ทิศทางการตรวจวัดในแนวแกนเพลลาของอุปกรณ์ที่มีส่วนหมุน เช่น เพลลา หรือเพลลาข้อเสือ

6.6.9. แนวระดับ (Horizontal) ทิศทางการตรวจวัดที่แกนของหัวตรวจวัดทำมุม 90 องศา (ตั้งฉาก) กับทิศทางในแนวแกน โดยที่หัวตรวจวัดอยู่ในลักษณะขนาดก้นกับพื้นโลก

6.6.10. แนวตั้ง (Vertical) ทิศทางการตรวจวัดที่แกนของหัวตรวจวัดทำมุม 90 องศา (ตั้งฉาก) กับทิศทางในแนวแกน โดยที่หัวตรวจวัดอยู่ในลักษณะตั้งฉากก้นกับพื้นโลก

6.6.11. แนวรัศมี (Radians) ทิศทางการตรวจวัดในแนวรัศมีแกนเพลลาของอุปกรณ์ ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดในแนวระดับหรือแนวตั้งได้

6.6.12. ค่าความไว (Sensilivity) ค่าความไวในการตรวจจับการสั่นสะเทือนของหัวตรวจวัด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหัวตรวจวัด

6.6.13. ค่าการสั่นสะเทือนรวม (Overall Vibration) ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยของ Amplitude ทั้งหมดที่สามารถตรวจวัดได้ในแต่ละแนวแกนของแต่ละรอบความเร็วของการปฏิบัติงานของอุปกรณ์หรือระบบนั้น ๆ ในแต่ละจุดวัด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$x_{overall} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_i^2}$$

6.6.14. ความเร่ง (Acceleration) อัตราการเปลี่ยนความเร็ว มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/วินาที² หรือ G's (1G= 9.81 mm/s²) การวัดความเร่งสามารถวัดได้โดยใช้ หัววัดแบบความเร่ง (Accelerometers)

6.6.15. ขนาดค่าการสั่นสะเทือน (Vibration Amplitude) ขนาดของการเคลื่อนที่แบบพลวัต (Dynamic Motion) หรือขนาดของการสั่นสะเทือน โดยที่ขนาดของการสั่นสะเทือนแสดงอยู่ในเทอมของ Peak-to-Peak, Zero-to-Peak หรือ r.m.s. โดยที่

$$r.m.s. = 0.707 \times \text{Zero-to-Peak}$$

$$\text{Peak-to-Peak} = 2 \times \text{Zero-to-Peak}.$$

6.6.16. ความถี่ของใบพัด (Blade Passing Frequency: BPF) ความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากใบพัดของเครื่องจักร (Turbine, Propeller Blade, Axial Compressor, Fan, etc.) โดยคำนวณได้จากจำนวนใบพัด (Number of Blades) ไปคูณความเร็วในการหมุนของเพลลา (Shaft-Rotating Speed)

6.6.17. ความถี่รางนอกของแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Pass Frequency Outer, BPFO) ความถี่ของรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นกับแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Bearing) บนรางนอกของแบริ่ง (Outer Races)

6.6.18. ความถี่รางในของแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Pass Frequency Inner, BPFI) ความถี่ของรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นกับแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Bearing) บนรางในของแบริ่ง (Inner Races)

6.6.19. ความถี่ของการชำระชุดของโครง (Fundamental Train Frequency, FTF) ความถี่ของโครงแบริ่ง

6.6.20. ความถี่ของการชำระชุดของเม็ดหมุน (Ball or Roller Spin Frequency, BSF) ความถี่ของเม็ดหมุนของแบริ่ง

6.6.21. การปรับเทียบ (Calibration) คือการตรวจสอบ หรือปรับแต่งเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำตามที่กำหนดไว้

6.6.22. ระยะทาง (Displacement) การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือการเปลี่ยนระยะหรือตำแหน่งเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง

6.6.23. หัววัดแบบระยะทาง (Displacement Transducer) หัววัดการสั่นสะเทือน ชนิดที่ค่าการสั่นสะเทือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง

6.6.24. ความถี่ (Frequency) จำนวนรอบที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลามีหน่วยเป็น เฮิรซ์ (Hz) หรือ รอบต่อวินาที (RPS) หรือรอบต่อนาที (RPM, CPM)

6.6.25. ความถี่ของฟันเกียร์ (Gear Mesh Frequency: GMF) ความถี่ที่เกิดจากการขบกันของฟันเกียร์ โดยคำนวณจาก จำนวนฟันเกียร์ (Number of Teeth) คูณกับความเร็วรอบการหมุนของเฟืองนั้นๆ (Rotational Speed)

6.6.26. Harmonic องค์ประกอบของความถี่ที่เป็นจำนวนเต็มคูณกับความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) เช่น 1st Harmonic คือ $1 \times \text{Fundamental Frequency}$, 2nd Harmonic คือ $2 \times \text{Fundamental Frequency}$ เป็นต้น

6.6.27. ค่าความละเอียด (Resolution) ค่าระยะห่างระหว่างช่วงคำนวณของการแสดงผลบนเครื่องมือตรวจวัดการสั่นสะเทือน เช่นตั้งค่าความละเอียดไว้ที่ 400 ค่าช่วงความถี่ในการตรวจวัด (Frequency Range) เท่ากับ 16000 CPM ดังนั้นระยะห่างของแต่ละช่วงคำนวณจะมีค่าเท่ากับ $16000/400 = 40 \text{ CPM}$ เป็นต้น

7. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน

7.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยคำแนะนำข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผลของการสั่นสะเทือนสำหรับที่พักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน

7.2. ชุดเครื่องมือวัด

รูปแบบของการวัด และอุปกรณ์ในการบันทึกให้ใช้เครื่องมือแบบ อานาล็อก, ดิจิตอล, สเปกตรัม (Spectrum) หรือแบบ Time-Signal โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 6.1 (เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์)

7.3. ทิศทางในการตรวจวัด

ทิศทางของหัวตรวจวัดต้องสอดคล้องกับแกนของเรือทั้งสามแกนอันได้แก่ ตามแนวยาว (Longitudinal), ตามแนวขวาง (Transverse) และตามแนวตั้ง (Vertical)

7.4. ขั้นตอนในการตรวจวัด

ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดต้องสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือออกมาได้ สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ (ห้องรับประทานอาหาร, ห้องพักผ่อน ฯลฯ) อาจต้องพิจารณาเพิ่มเติมตำแหน่งในการตรวจวัดตามความเหมาะสม

7.4.1. ในแต่ละห้องที่ทำการตรวจวัด ต้องทำการตรวจวัดที่บริเวณกลางห้องทั้ง 3 ทิศทาง (ถ้าสามารถกระทำได้) และตรวจวัดในตำแหน่งมุมห้องทั้งสี่มุมในแนวตั้ง (Vertical direction) และแนวรัศมี (Radial direction) ส่วนในตำแหน่งอื่นๆ ที่สนใจตรวจสอบเป็นการเฉพาะให้ตรวจวัดเฉพาะในแนวตั้ง เท่านั้น

7.4.2. ย่านความถี่ในการตรวจวัด ระหว่าง 1 Hz ถึง 100 Hz

7.4.3. ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 1 นาที แต่ถ้าย่านความถี่ต่ำกว่า 2 Hz ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 2 นาทีต่อครั้ง

7.5. เงื่อนไขในการตรวจวัด

การตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 2.4 (เงื่อนไขในการตรวจวัด)

7.6. เกณฑ์การสั่นสะเทือนของห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน แสดงที่ค่าสูงสุด (Zero-to-Peak) ในหน่วย มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s-Peak) โดยย่านความถี่ในการประเมินอยู่ระหว่าง 5-100 Hz (300-6000 RPM) ดังในตารางที่ 7.3

ตำแหน่งในการตรวจวัด (Location)	เกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือน (mm/s-Peak)
ห้องพัก (Cabins)	5.0
ห้องอาหาร/ห้องพักผ่อน (Mess/recreation room)	5.0
ห้องพักนายทหาร (Officers)	5.0
สะพานเดินเรือ (Navigation bridge)	5.0
ห้องควบคุม (Control rooms)	6.0
สถานที่ปฏิบัติงาน (Work places)	6.0

ตาราง 7.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน

(Crew accommodation and Work Places)

8 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องจักรกล

8.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยคำแนะนำข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผลของค่าการสั่นสะเทือนสำหรับเพลลา, แบริ่งในระบบเพลลา, เครื่องยนต์ดีเซล, เครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ In-line และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับเครื่องขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Single bearing, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เกียร์, เครื่องจักรกลทั่วไป, เครื่องอัด และแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Ball or Roller Element Bearing)

8.2. ชุดเครื่องมือวัด

รูปแบบของการวัด และอุปกรณ์ในการบันทึกให้ใช้เครื่องมือแบบ อานาล็อก, ดิจิตอล, สเปกตรัม (Spectrum) หรือแบบ Time-Signal โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 6.1 (เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์)

8.3. ทิศทางในการตรวจวัด

ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นแล้วให้ทำการวัดอย่างน้อย 3 ทิศทางหลัก คือ แนวนอน (Horizontal), แนวตั้ง (Vertical) และแนวแกน (Axial)

8.3.1 เพลลาใบจักร

ต้องวางหัวตรวจวัดที่ตำแหน่งเปลือกนอกของแบริ่งตามรูปที่ ข.1

8.3.2 เครื่องยนต์ดีเซล ที่ไม่ใช่เครื่องอัด (Compressor) รวมทั้งเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ V-Type

8.3.2.1 การตรวจวัดที่ยอดสูบต้องวางตำแหน่งของหัวตรวจวัดในแนวแกน และแนวรัศมี

8.3.2.2 การตรวจวัดที่แบริ่งเพลลาข้อเหวี่ยง ต้องวางตำแหน่งของหัวตรวจวัดดังแสดงไว้ในรูปที่

ข.2 – ข.3 (ผนวก ข.)

8.3.3 เครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ In-Line และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ต้องวางตำแหน่งหัวตรวจวัดตามรูปที่ ข.4 (ผนวก ข.) ซึ่งตำแหน่งในการตรวจวัดต้องเป็นตำแหน่งที่อยู่บนโครงสร้างที่แข็งแรงของเครื่องยนต์ขับเคลื่อน และบนตำแหน่งโครงสร้างของเครื่องกำเนิดฯ เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนของตัวเรือที่อาจจะส่งผ่านขึ้นมาได้

8.3.4 เกียร์

ตำแหน่งที่วัดต้องเป็นตำแหน่งที่การสั่นสะเทือนสามารถส่งผ่านมาได้มากที่สุด สำหรับเกียร์ต้องศึกษาส่วนประกอบภายในเกียร์ของเกียร์แต่ละแบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบของการสั่นสะเทือนด้วย ซึ่งตำแหน่งวัดต้องทำการตรวจวัดประกอบด้วยด้านที่ต่อกับเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อน (Power Input) ด้านที่ต่อกับเพลลา (Power Output) และตัวโครงสร้างของเกียร์ ตามรูปที่ ข.5 (ผนวก ข.) โดยให้วัดภายนอกเกียร์ ในตำแหน่งที่ใกล้แบริ่งมากที่สุด ตำแหน่งจุดวัดอย่างน้อยที่สุดที่ต้องวัดได้แสดงไว้ในรูปที่ ข.6 (ผนวก ข.)

8.3.5 เครื่องจักรกลทั่วไป

ต้องให้ตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งที่ใกล้แบร์ริงมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูป ข.7 (ผนวก ข.) และเครื่องจักรกลแบบตั้ง (Machinery Vertical Set) จะต้องตรวจวัดในตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูป ข.8 (ผนวก ข.)

8.3.6 เครื่องอัด (Compressor)

ต้องวางหัวตรวจวัดที่ตำแหน่งยอดสูบ รวมทั้งแบร์ริงของเพลาช่อเหวี่ยงในแนวเดียวกับเครื่องยนต์ ดีเซลดังในข้อ 8.3.2

8.3.7 แบร์ริงประเภทเม็ดหมุน

ต้องวางหัวตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งใกล้แบร์ริงมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูป ข.7 (ผนวก ข.)

8.3.8 ใบจักรแบบ Voith Schneider

ต้องวางหัวตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่ง Input Gear (ตำแหน่ง M1) และปลายขอบที่เป็น ส่วนแข็งแรงของ Housing Arm ทั้งสองอัน (ตำแหน่ง M2 และ M3) ดังแสดงไว้ในรูป ข.9 (ผนวก ข.)

8.3.9 ใบจักรแบบ Mechanical Azimuth Drives (Schottel)

ต้องวางหัวตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งเรือนแบร์ริง (Bearing Housing) เรือนแบร์ริงของเพลาช่อ (Shaft Bearing) และโครงสร้างตัวเรือ (Hull) ดังแสดงไว้ในรูป ข.7 และ ข.8 (ผนวก ข.)

8.3.10 ใบจักรแบบ Transverse Thruster ที่ขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า (Transverse Thruster Driven by Vertical Electric Motor)

ต้องวางหัวตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งเรือนแบร์ริง (Bearing Housing) เรือนแบร์ริงของเพลาช่อ (Shaft Bearing) และโครงสร้างตัวเรือ (Hull) ดังแสดงไว้ในรูป ข.10 (ผนวก ข.)

8.3.11 ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Propulsion Motors)

ต้องให้ตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งที่ใกล้แบร์ริงมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูป ข.7 และ ข.8 (ผนวก ข.)

8.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

8.4.1. เพลาใบจักร

8.4.1.1 เรือต่อใหม่ ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องยนต์หมุนด้วยความเร็ว 50%, 75% และ 100% ของความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงความเร็วอื่นๆ ที่ทำให้ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุด โดยที่อุณหภูมิ และสภาพการหล่อลื่นต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้โดยบริษัทผู้ผลิต การตั้งค่าย่านความถี่ของแบร์ริงรับเพลาช่อแบร์ริงกัป ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องตั้งค่าไม่น้อยกว่า 20 เท่า สำหรับการตรวจวัด แบร์ริงประเภทเม็ดหมุน ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.5.9 แบร์ริงประเภทเม็ดหมุน

8.4.1.2 เรือซ่อม ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องยนต์หมุนด้วยความเร็ว 50% และ 75% ของความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงความเร็วอื่นๆ ที่ทำให้ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุด โดยที่อุณหภูมิ และสภาพการหล่อลื่นต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้โดยบริษัทผู้ผลิต การตั้งค่าย่านความถี่ของแบร์ริงรับเพลาช่อแบร์ริงกัป ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องตั้งค่าไม่น้อยกว่า 20 เท่า สำหรับการตรวจวัดแบร์ริงประเภทเม็ดหมุน ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.5.9 แบร์ริงประเภทเม็ดหมุน

8.4.2 เครื่องยนต์ดีเซล ที่ไม่ใช่เครื่องอัด (Compressor)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ใช้งานระบบขับเคลื่อนที่ความเร็วขณะปฏิบัติการในสภาวะปกติ ความเร็วเดินทาง และที่ความเร็วสูงสุด หรืออาจจะพิจารณาตรวจสอบในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานจ่ายภาระ (Load) ที่ 50%, 75% และ 100% หรือความเร็วอื่นใดที่เป็นความเร็วที่ใช้งานมากที่สุด ของเรือประเภทนั้นๆ

8.4.3 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ V-Type และ In-Line

8.4.3.1 ในกรณีที่ยังไม่ได้จ่ายภาระ ต้องทำการตรวจวัดที่ 50%, 75% และ 100% ของความเร็วสูงสุด

8.4.3.2 ในกรณีที่กำลังจ่ายภาระอยู่ ต้องทำการตรวจวัดตามข้อ 8.4.4

8.4.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำการจ่ายภาระที่ 50%, 75% และ 100% ของความสามารถในการจ่ายภาระของเครื่องนั้นๆ

8.4.5 เกียร์

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เกียร์ทำงานจ่ายภาระตามความสัมพันธ์กับเครื่องยนต์ขับเคลื่อนในระบบขับเคลื่อน ตามข้อ 4.4.2 ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องตั้งค่าย่านความถี่ในการตรวจวัดไม่น้อยกว่า 3.25 เท่าของความถี่ Gear Meshing Frequency: GMF) หากไม่สามารถคำนวณหาความถี่ GMF ได้ให้ตั้งค่าย่านความถี่ในการตรวจวัดเท่ากับ 200 เท่าของความเร็วรอบในการตรวจวัด สำหรับการตรวจวัดเฉพาะแบบริ่งประเภทเม็ดหมุนซึ่งเป็นส่วนประกอบของเกียร์นั้น ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.4.8

8.4.6 เครื่องจักรกลทั่วไป (General Machine)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานด้วยความเร็วรอบทำงานปกติ และจ่ายภาระตามที่ได้ออกแบบไว้ เกณฑ์นี้สามารถใช้ได้กับเครื่องจักรกลที่มีแบบริ่งประเภทเม็ดหมุนเป็นส่วนประกอบเท่านั้น หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดคือ mm/s- r.m.s. และให้ใช้ค่าการสั่นสะเทือนรวม (Overall Vibration) ในการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ โดยแบ่งเครื่องจักรที่จะสามารถตรวจวัดได้ออกเป็นสองประเภทคือ

8.4.6.1 เครื่องจักรที่มีฐานแน่นหนาแข็งแรง (Rigidly mounted machine)

8.4.6.2 เครื่องจักรที่อยู่บนฐานสปริง หรือฐานรองรับหยุ่นอื่นๆ (Elastically mounted machine)

8.4.7 เครื่องอัด (Compressor)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วรอบทำงาน

8.4.8 แบบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Ball & Roller Element Bearing)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วรอบปกติในกรณีที่ต้องการตรวจสอบสภาพของแบบริ่งเป็นการเฉพาะเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติต้องตั้งค่าย่านความถี่ในการตรวจวัดเพื่อการวิเคราะห์ โดยเฉพาะต้องตั้งค่าไม่ต่ำกว่า 40 เท่าของความเร็วที่ทำการตรวจสอบ ค่าความละเอียด (Lines Resolution) ไม่ต่ำกว่า 1600 เส้น (FFT Lines) หน่วยที่ตรวจวัดคือ mm/s- r.m.s. ยกเว้นในกรณีที่ตรวจวัดอุปกรณ์

เครื่องจักรกลใดๆ ที่ตรวจวัดในหน่วย mm/s–Peak) แล้วต้องการจะประเมินสภาพแบริงประเภทเม็ดหมุนด้วย ให้ใช้หน่วยที่ตรวจวัดแบบ mm/s–Peak) ในการประเมินสภาพ

8.4.9 ใบจักรแบบ Voith Schneider และ Mechanical Azimuth Drives (Schottel)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วสูงสุด โดยให้ตั้งย่านความถี่ในการตรวจวัด ตั้งแต่ 1 Hz ถึง 1000 Hz หน่วยที่ตรวจวัดคือ mm/s– r.m.s.

8.4.10 ใบจักรแบบ Transverse Thruster ที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแนวตั้ง (Transverse Thruster Driven by Vertical Electric Motor)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วสูงสุด โดยให้ตั้งย่านความถี่ในการตรวจวัดตั้งแต่ 1 Hz ถึง 500 Hz หน่วยที่ตรวจวัดคือ mm/s– r.m.s.

8.4.11 ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Propulsion Motors)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วสูงสุด โดยให้ตั้งย่านความถี่ในการตรวจวัดตั้งแต่ 1 Hz ถึง 500 Hz หน่วยที่ตรวจวัดคือ mm/s– r.m.s.

8.4.12 การตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 2.4 (เงื่อนไขในการตรวจวัด)

8.5 ขั้นตอนในการตรวจวัด

สำหรับการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลนั้น การตรวจวัดต้องกระทำบนชิ้นส่วนที่สามารถกระทำการตรวจวัดได้ โดยต้องทำการตรวจวัดด้วยความระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าการตรวจวัดได้แสดงค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริงโดยจะไม่ตรวจวัดค่ากำธ (Resonance) ของพื้นที่นั้น และสิ่งที่จะส่งผลให้เกิดการขยายสัญญาณสูงเกินความเป็นจริงตำแหน่งและทิศทางของการตรวจวัดต้องเป็นตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดค่าแรงพลวัตของเครื่องจักรได้โดยง่าย

8.5.1 ตรวจสอบสภาพการหล่อลื่น อุณหภูมิ และค่าตัวแปรต่างๆ ของเครื่องยนตก่อนการตรวจวัด

8.5.2 การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัด ให้ทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

8.5.2.1 เพลาใบจักร ต้องให้ทำการบันทึกเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วตามข้อ 4.4.1 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.2 เครื่องยนต์ดีเซล ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วตามข้อ 4.4.2 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.3 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเคลื่อนกังหันไฟฟ้า ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.3 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.4 เครื่องกังหันไฟฟ้า ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.4 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.5 เกียร์ ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.5 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.6 เครื่องจักรกลทั่วไป ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.6 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.7 เครื่องอัด ให้ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องอัดทำงานตามข้อ 4.4.7 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.8 แบร้งประเภทเม็คหมุน ให้ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องจักรทำงานตามข้อ 4.4.8 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.9 ใบจักรแบบ Voith Schneider ใบจักรแบบ Mechanical Azimuth Drives (Schottel) ให้ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องจักรทำงานตามข้อ 4.4.9 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.10 ใบจักรแบบ ใบจักรแบบ Transverse Thruster ที่ขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแนวตั้ง (Transverse Thruster Driven by Vertical Electric Motor) ให้ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องจักรทำงานตามข้อ 4.4.10 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

8.5.2.11 ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Propulsion Motors)

8.6 เกณฑ์การประเมินผลเพลลาใบจักร (Shafting)

ค่าเกณฑ์การสันสะเทือนที่ของเพลลาใบจักรเป็นดังในรูป ที่ 4.1

8.7 เกณฑ์การประเมินผลเครื่องจักรกล

ค่าเกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องจักรกลที่กำหนดให้สามารถใช้ได้กับความเร็วในการใช้งานทุกย่านความเร็ว และทุกภาระขณะใช้งานที่สภาวะคงที่

8.7.1 เครื่องยนต์ดีเซล ที่ไม่ใช่เครื่องอัด (Compressor) รวมทั้งเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ V-Type

ค่าการสันสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 8.2

8.7.2 เครื่องยนต์ดีเซลแบบ In-Line, ชุดเครื่องไฟฟ้าแบบ In-Line และชุดเครื่องไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Single bearing

ค่าการสันสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 8.3

8.7.3 เกียร์ (Gears)

เกณฑ์การสันสะเทือนของเกียร์ที่จะประเมินนั้นจะต้องประเมินทั้งค่าการสันสะเทือนของการขบของฟันเฟือง (Gear Meshing Frequency: GMF) และค่าการสันสะเทือนของแบร้งที่ใช้งานอยู่ในเกียร์ โดยเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าการสันสะเทือนของการขบของฟันเฟือง (Gear Meshing Frequency: GMF) ค่าการสันสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 8.4 และค่าการสันสะเทือนของแบร้งที่ใช้งานอยู่ในเกียร์ให้ใช้ตามหัวข้อ 8.7.6

8.7.4 เครื่องจักรกลทั่วไป (General Machine) เกณฑ์การสันสะเทือนที่กำหนดไว้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ต่อไปนี้

8.7.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไป (Electrical Motor)

8.7.4.2 ปั๊ม (Pump)

8.7.4.3 MG-Set

8.7.4.4 เครื่องแยกน้ำมันเชื้อเพลิง และเครื่องแยกน้ำมันหล่อ (Fuel and Lubricating Oil Separator)

8.7.4.5 ปัมไฮดรอลิกส์แบบแรงเหวี่ยง (Hydraulic Centrifugal Pump)

8.7.4.6 สกรูปั๊มแบบแรงเหวี่ยง และแบบ Rotary ทั้งแบบตั้งที่มีความสูงไม่เกิน 2.0 เมตร และแบบนอน (Centrifugal and Rotary Screw Pumps Vertical Pumps with Height up to 2.0 m and Horizontal Pumps)

8.7.4.7 พัดลม (Fans)

ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของเครื่องจักรที่มีฐานแท่นแข็งแรง (Structural Foundation) ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟตามรูปที่ 4.5

ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของเครื่องจักรที่มีฐานสปริงหรือฐานรองรับยืดหยุ่นอื่น ๆ (Soft Mounting Machine) ต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับเส้นประของกราฟตามรูปที่ 4.5

8.7.5 เครื่องอัด (Compressors)

8.7.5.1. เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบ Screw Type

8.7.5.1.1. ติดตั้งแบบฐานแบบคงที่ (Fixed Mounted Screw Type Compressor)

ค่าการสั่นสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นกราฟตามรูปที่ 4.6

8.7.5.1.2. ติดตั้งแบบฐานแบบยืดหยุ่น (Elastically Mounted Screw Type Compressor)

ค่าการสั่นสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นกราฟตามรูปที่ 4.7

8.7.5.2. เครื่องอัดแบบเพลาช้อเหวี่ยง (Reciprocating Compressor) เครื่องอัดแบบเพลาช้อเหวี่ยง ที่ติดตั้งบนฐานแข็งแรง หรือที่ติดตั้งบนฐานยืดหยุ่น

ค่าการสั่นสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นกราฟรูปที่ 8.8

หมายเหตุ การตรวจวัดของเครื่องอัดที่ติดตั้งในแนวระดับ (Horizontally Mounted Compressor) ต้องตรวจวัดที่ตำแหน่งของเรือนแบริ่ง และ Pedestal Bearing ในกรณีของเครื่องอัดที่ติดตั้งในแนวตั้ง หรือที่ติดตั้งในแนวลาดเอียง (Vertically or Inclined Mounted Machines) ต้องตรวจวัดที่ตำแหน่งซึ่งเกิดค่าการสั่นสะเทือนสูงที่สุด

8.7.6 แบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Ball & Rolling Element Bearing)

ก่อนการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบริ่งนั้น ผู้ตรวจวัดจำเป็นต้องคำนวณค่าความถี่ชำรุดของแบริ่ง (Faulty Frequency) ในแต่ละย่านความเร็วที่ตรวจวัดออกมาเสียก่อนแล้วนำมาเปรียบเทียบกับความสูงของแต่ละ Amplitude ของการชำรุดประเภทต่างๆ ของแบริ่ง (BPFO, BPFI, FTF, BSF) ณ Harmonics ต่างๆ โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณความถี่ชำรุดของแบริ่ง คือ

8.7.6.1 ประเภทของแบริ่ง (Roller, Ball, Needle or Spherical Bearing)

8.7.6.2 ความเร็วของเพลาช้อ (Shaft Speed)

8.7.6.3 ขนาดโครงสร้างของแบริ่ง (Bearing Geometry)

8.7.6.4 จำนวนเม็ดหมุน (Number of Ball, Roller)

8.7.6.5 มุมสัมผัสของภาระที่กระทำกับแบริ่ง (Load Contact Angle)

ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำมาคำนวณค่าความถี่การชำรุดของแบริ่งประเภทต่าง ๆ คือ

- การชำรุดที่ด้านในของร่องราง (Ball Pass Frequency Inner, BPFI)
- การชำรุดที่ด้านนอกของร่องราง (Ball Pass Frequency Outer, BPFO)
- การชำรุดของเม็ดบอล (Ball Spin Frequency, BSF)
- การชำรุดของโครง (Fundamental Train Frequency, FTF)

หลักการคำนวณค่าความถี่การชำรุดของแบริ่งได้แสดงไว้ในผนวก ค. (หัวข้อ ค.7 การคำนวณค่าความถี่การชำรุดประเภทต่างๆ ของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน)

ค่าการสั่นสะเทือนของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Rolling Element Bearing) ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟในรูปที่ 8.9 โดยตรวจวัดและประเมินในหน่วย mm/s- r.m.s.

ในกรณีที่ตรวจวัดอุปกรณ์เครื่องจักรกลอื่นๆ (เช่นเกียร์) แล้วต้องการประเมินผลแบริ่งประเภทเม็ดหมุนที่มีอยู่ในอุปกรณ์เครื่องจักรกลนั้นๆ ด้วย ค่าการสั่นสะเทือนของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Rolling Element Bearing) ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นประของกราฟในรูปที่ 4.9 โดยตรวจวัดและประเมินในหน่วย mm/s-Peak

8.7.7 ใบจักรแบบ Voith Schneider ค่าการสั่นสะเทือนในทุกตำแหน่งของการตรวจวัดจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ตามรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.1 ดังนี้

8.7.7.1 ระดับ A (Zone A) ค่าการสั่นสะเทือนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.5 mm/s- r.m.s. (≤ 4.5 mm/s- r.m.s.) สามารถใช้งานได้โดยไม่มีข้อจำกัด

8.7.7.2 ระดับ B (Zone B) ค่าการสั่นสะเทือนมากกว่า 4.5 mm/s- r.m.s. แต่ไม่เกิน 7.1 mm/s- r.m.s.) (> 4.5 และ ≤ 7.1 mm/s- r.m.s.) สามารถใช้งานได้หากการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดไม่พบสิ่งผิดปกติใดๆ ที่สำคัญ อันจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อใบจักรหากนำไปใช้งาน

8.7.7.3 ระดับ C (Zone C) ค่าการสั่นสะเทือนมากกว่า 7.1 mm/s- r.m.s. (> 7.1 mm/s- r.m.s.) ไม่ควรใช้งาน และจะต้องวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าการสั่นสะเทือนที่เป็นปัญหา

ระดับ (Zone)	A	B	C
ค่าการสั่นสะเทือน (mm/s- r.m.s.)	≤ 4.5	> 4.5 และ ≤ 7.1	> 7.1

ตารางที่ 8.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของใบจักรแบบ Voith Schneider

8.7.8 ใบจักรแบบ Mechanical Azimuth Drives (Schottel) ค่าการสั่นสะเทือนในทุกตำแหน่งของการตรวจวัดจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ตามรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.2 ดังนี้

8.7.8.1 ระดับ A (Zone A) ค่าการสั่นสะเทือนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.5 mm/s- r.m.s. (≤ 4.5 mm/s- r.m.s.) สามารถใช้งานได้โดยไม่มีข้อจำกัด

8.7.8.2 ระดับ B (Zone B) ค่าการสั่นสะเทือนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 11.2 mm/s- r.m.s. ($\leq$ 11.2 mm/s- r.m.s.) สามารถใช้งานได้ แต่ต้องตรวจสอบศูนย์ (Alignment) ความแข็งแรงของฐานแท่น (Foundation) ว่าไม่มีความผิดปกติ และค่าการสั่นสะเทือนของแบร็งต้องไม่แสดงการชำรุดแบบต่างๆ ตามหัวข้อ 4.7.6 อันจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อใบจักรหากนำไปใช้งาน

8.7.8.3 ระดับ C (Zone C) ค่าการสั่นสะเทือนมากกว่า 11.2 mm/s- r.m.s. ($>$ 11.2 mm/s- r.m.s.) ไม่ควรใช้งาน และจะต้องแต่ต้องตรวจสอบศูนย์ (Alignment) ความแข็งแรงของฐานแท่น (Foundation) ว่าไม่มีความผิดปกติ รวมทั้งวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าการสั่นสะเทือนที่เป็นปัญหา

ระดับ (Zone)	A	B	C
ค่าการสั่นสะเทือน (mm/s- r.m.s.)	≤ 4.5	≤ 11.2	> 11.2

ตารางที่ 8.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของใบจักรแบบ Mechanical Azimuth Drives (Schottel)

8.7.9 ใบจักรแบบ Transverse Thruster ที่ขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแนวตั้ง (Transverse Thruster Driven by Vertical Electric Motor) ค่าการสั่นสะเทือนในทุกตำแหน่งของการตรวจวัดจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามรูปที่ 4.12 ดังนี้

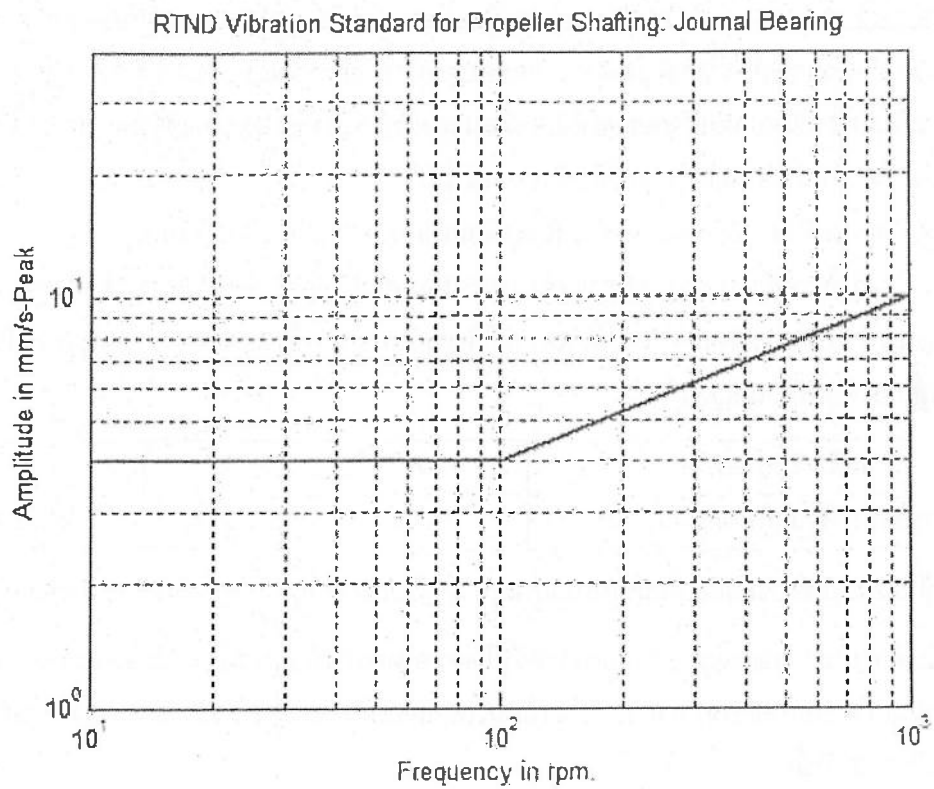
8.7.9.1 Thruster ที่มีใบจักรแบบ Fixed Pitch Propeller (FP) ต้องมีค่าการสั่นสะเทือนไม่เกิน 18 mm/s- r.m.s. ที่ทุกย่านความเร็ว

8.7.9.2 Thruster ที่มีใบจักรแบบ Controllable Pitch Propeller (CP) ต้องมีค่าการสั่นสะเทือนไม่เกิน 10 mm/s- r.m.s. ที่ทุกย่านความเร็ว

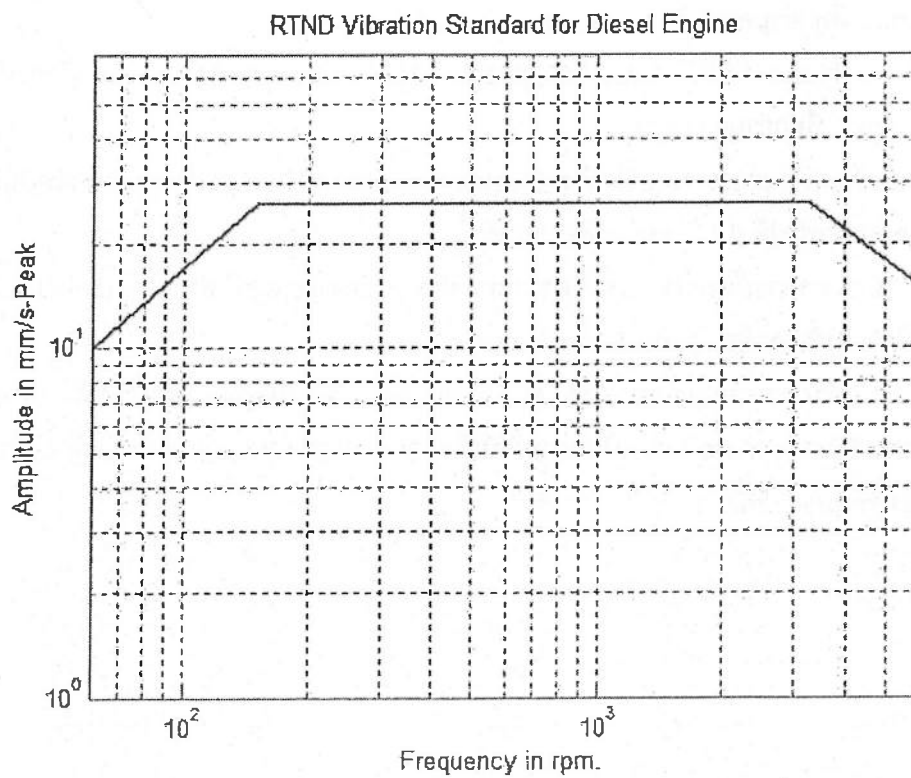
8.7.10 ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Propulsion Motors) ค่าการสั่นสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นกราฟรูปที่ 4.12 โดยต้องพิจารณา ดังนี้

8.7.10.1 ค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเอง (Self-Excited Vibration) จะต้องมีค่าการสั่นสะเทือนไม่เกิน 5 mm/s- r.m.s.

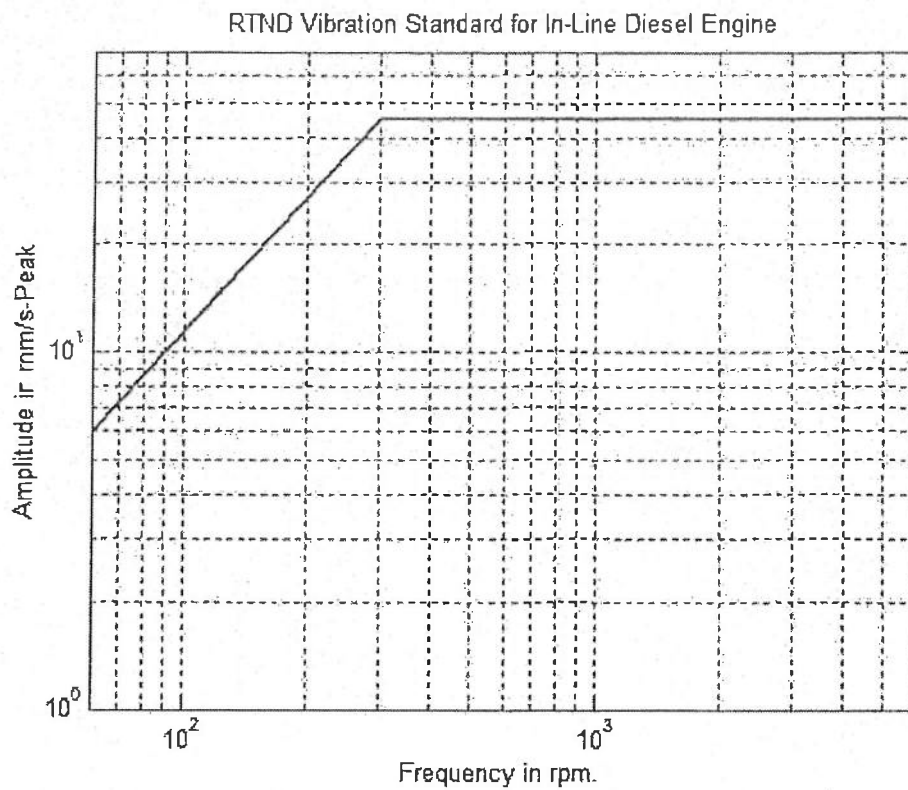
8.7.10.2 ค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่ส่งผลถึงมอเตอร์ไฟฟ้า (Marine Environment to the Electric Motor) โดยเป็นความถี่ที่ไม่ใช่รอบการทำงานของมอเตอร์ จะต้องมีค่าการสั่นสะเทือนไม่เกิน 14 mm/s- r.m.s.



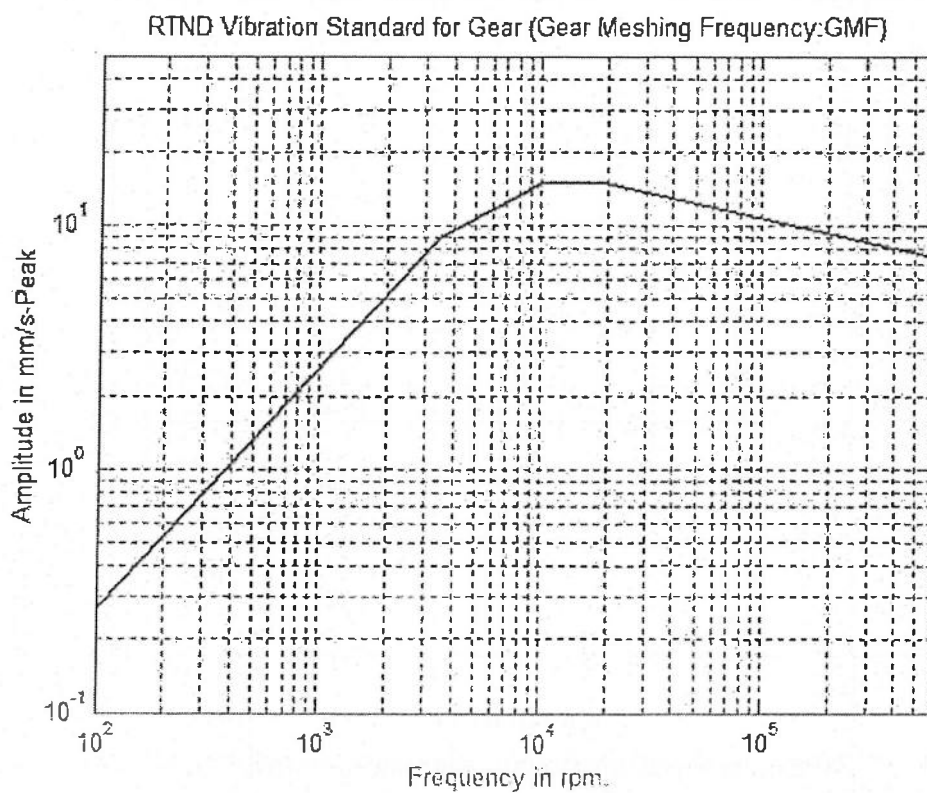
รูป 8.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเพลาลูกจักร



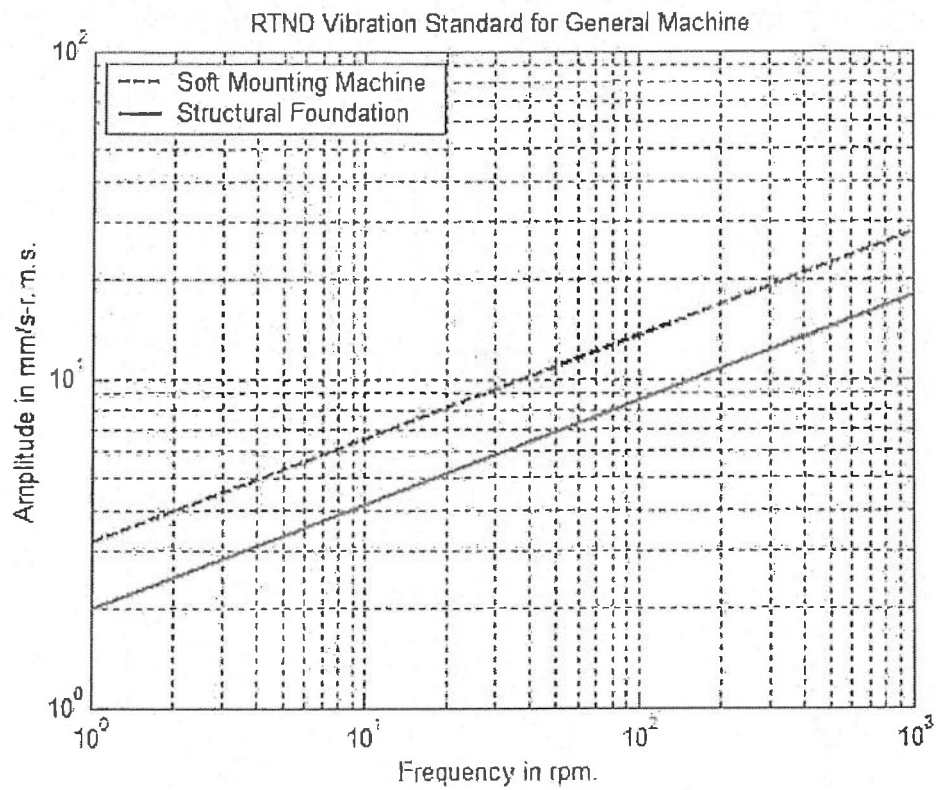
รูป 8.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนเครื่องยนต์ของดีเซล รวมทั้งเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปที่ใช้ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า (ที่ไม่ใช่แบบ In-Line)



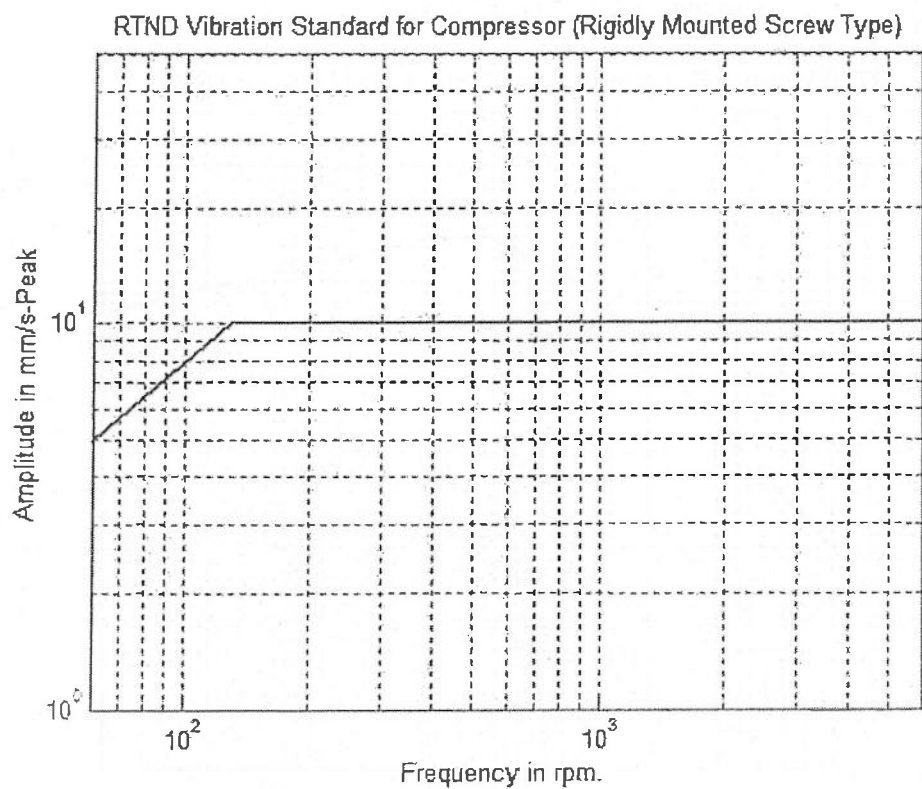
รูป 8.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ In-Line, ชุดเครื่องไฟฟ้าแบบ In-Line และชุดเครื่องไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดแบบ Single Bearing



รูป 8.4 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเกียร์ (Gear Meshing Frequency)

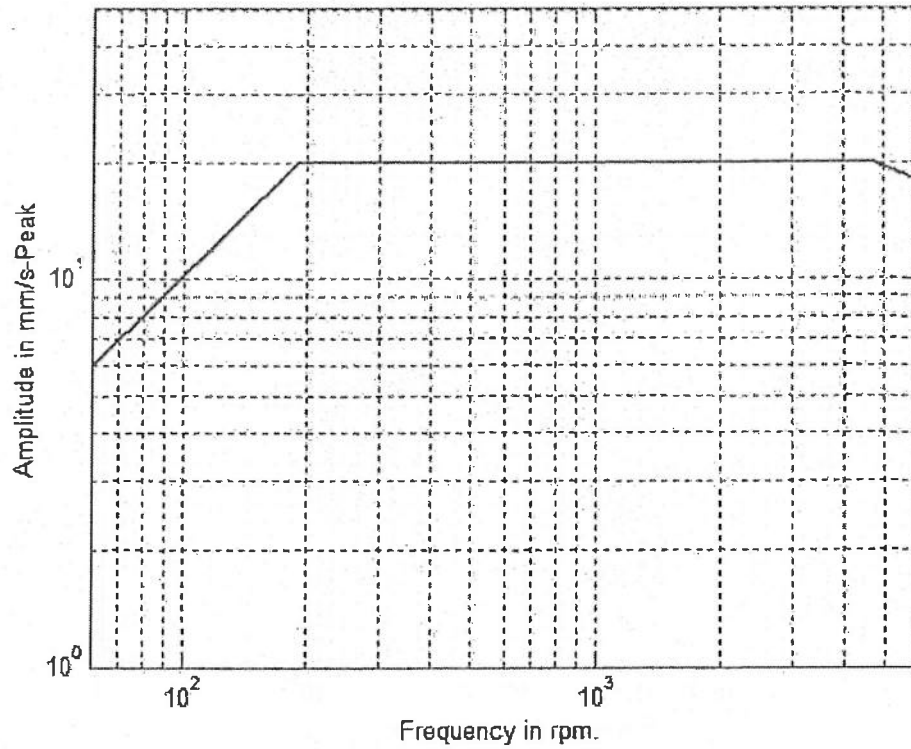


รูป 8.5 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลทั่วไป (General Machine)



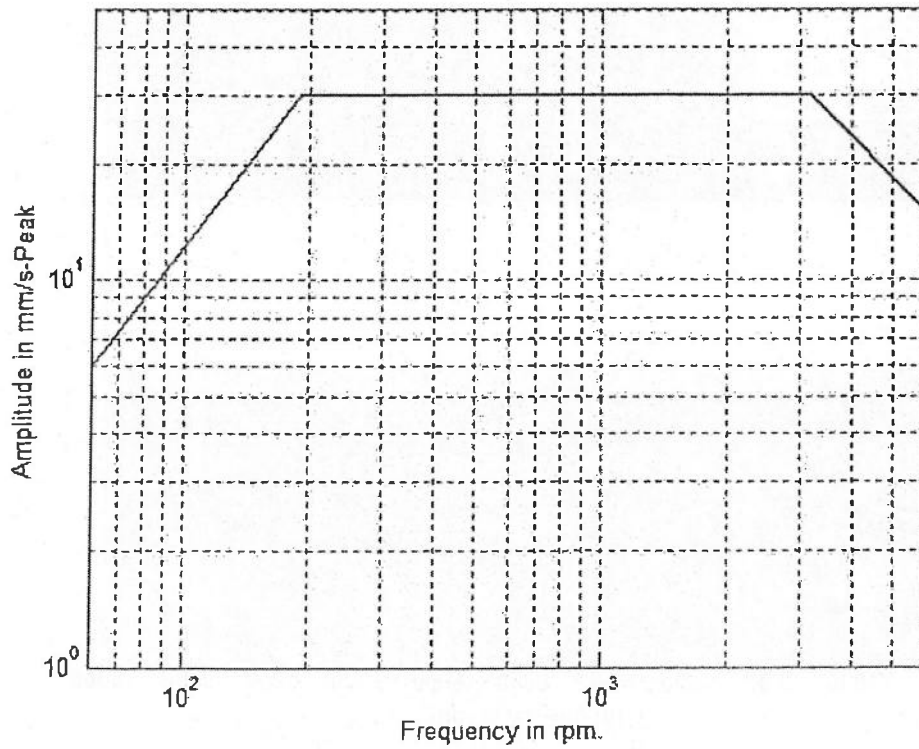
รูป 8.6 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบฐานคงที่

RTND Vibration Standard for Compressor (Elastically Mounted Screw Type)

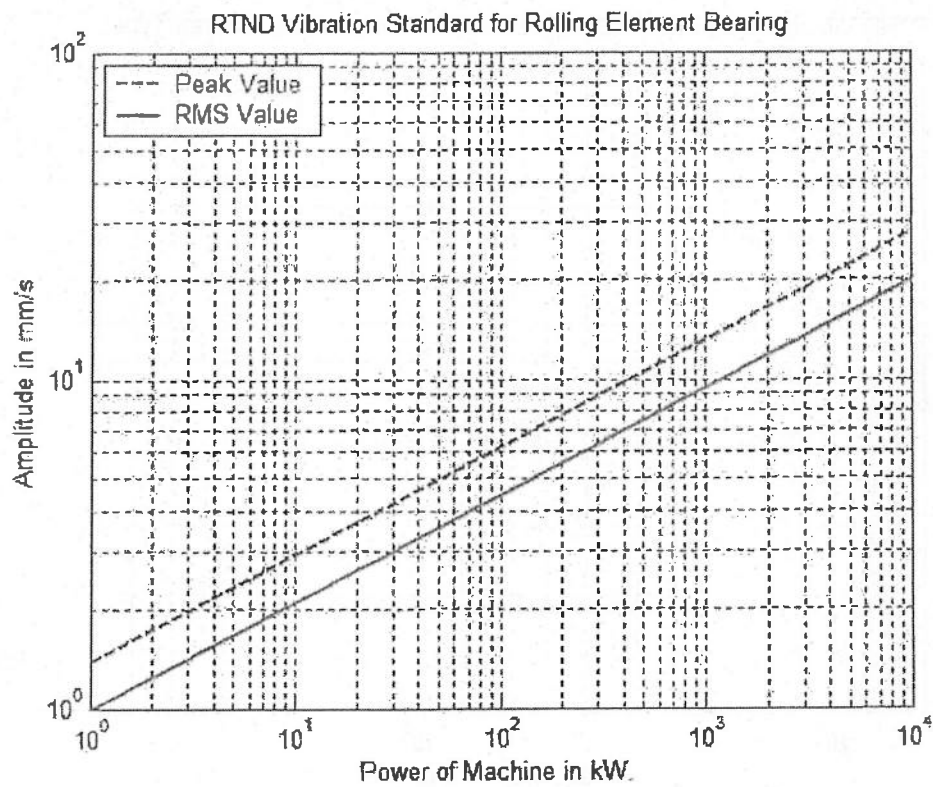


รูป 8.7 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบฐานยึดหยุ่น

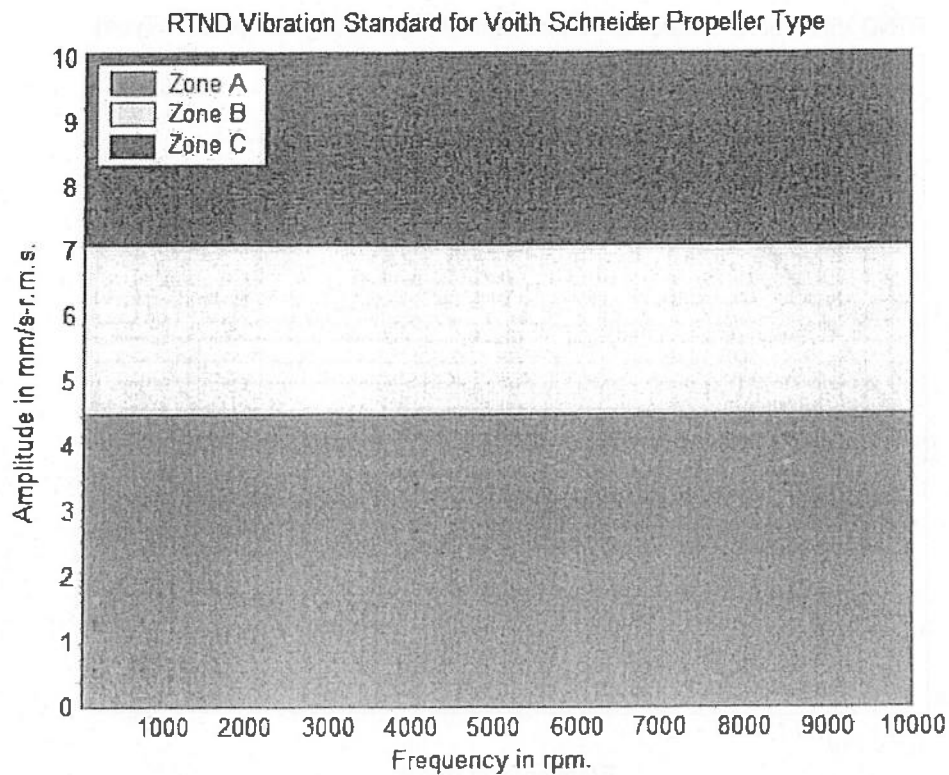
RTND Vibration Standard for Compressor (Reciprocating Compressor Type)



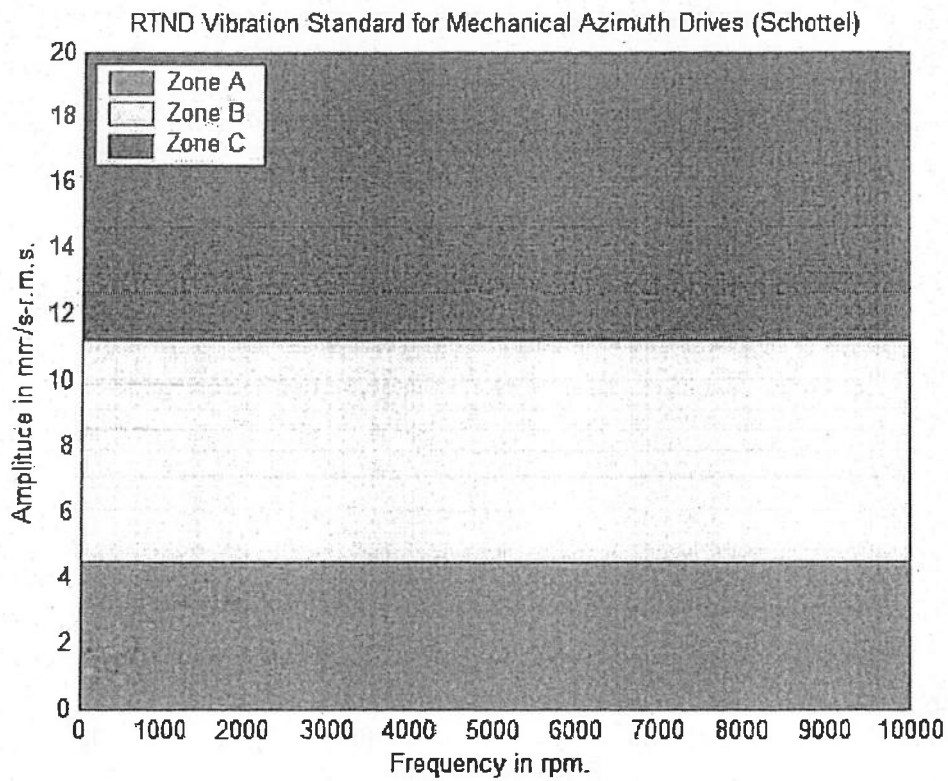
รูป 8.8 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบเพลาลูกเบี้ยว



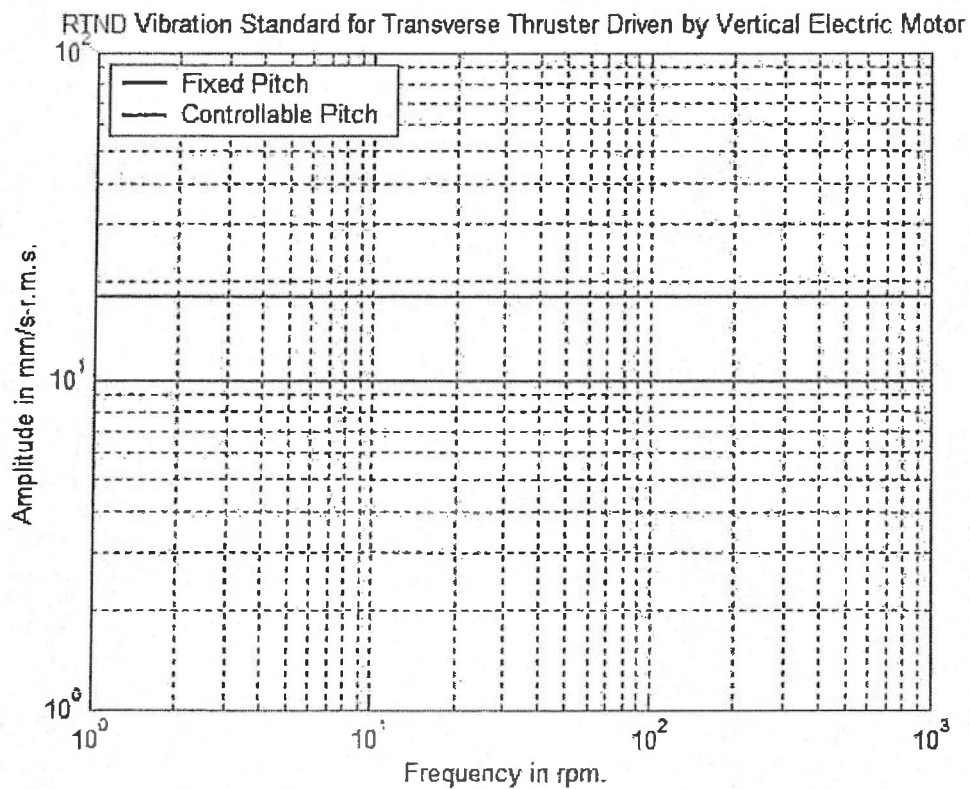
รูป 8.9 เกณฑ์มาตรฐานของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Rolling Element Bearing)



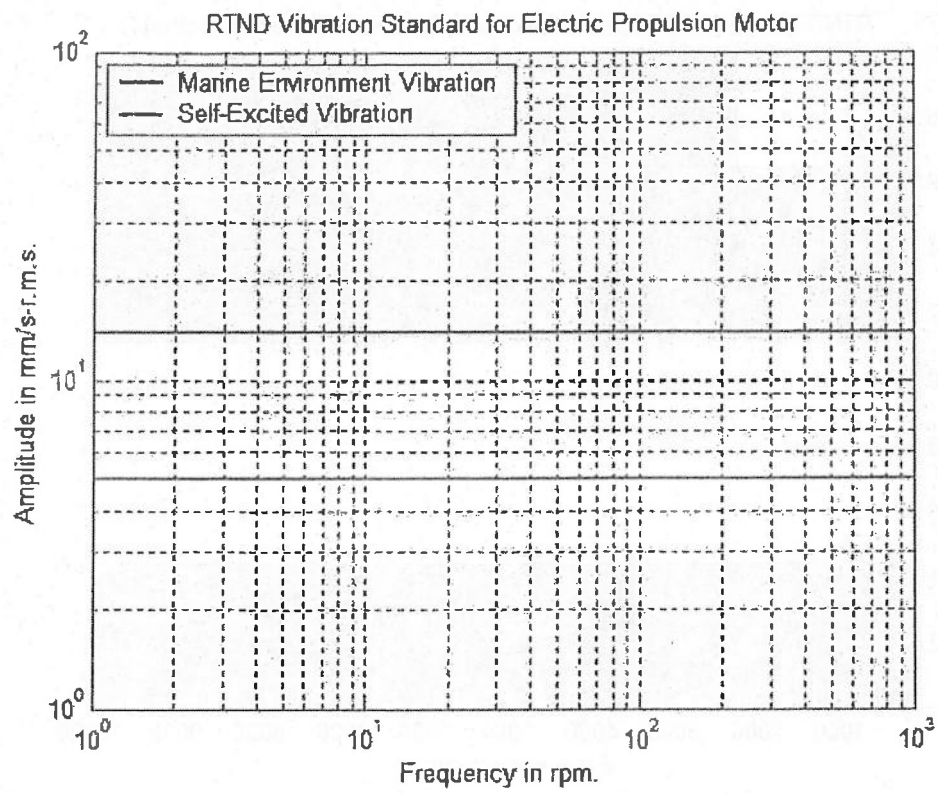
รูป 8.10 เกณฑ์มาตรฐานของใบจักรแบบ Voith Schneider



รูป 8.11 เกณฑ์มาตรฐานของใบจักรแบบ Mechanical Azimuth Drives (Schottel)



รูป 8.12 เกณฑ์มาตรฐานของใบจักรแบบ Transverse Thruster ที่ขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแนวตั้ง (Transverse Thruster Driven by Vertical Electric Motor)



รูป 8.13 เกณฑ์มาตรฐานของระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

9. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

9.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยคำแนะนำ ข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผลของค่าการสั่นสะเทือนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกันน้ำ (Bulkhead mounted), เครื่องจักรกล(Machinery mounted)และ เสากระโดง (Mast mounted)

9.2. ชุดเครื่องมือวัด

รูปแบบของการวัด และอุปกรณ์ในการบันทึกให้ใช้เครื่องมือแบบ อานาล็อก, ดิจิตอล, สเปกตรัม (Spectrum) หรือแบบ Time-Signal โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ

9.1 (เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์)

9.3. ทิศทางในการตรวจวัด

ทิศทางของหัวตรวจวัดต้องสอดคล้องกับแกนของเรือทั้งสามแกนอันได้แก่ ตามแนวยาว (Longitudinal), ตามแนวนอน (Transverse) และตามแนวตั้ง (Vertical)

9.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

การตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 2.4 (เงื่อนไขในการตรวจวัด)

9.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด

การตรวจวัดต้องเลือกตำแหน่งที่แสดงค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม และค่าการสั่นสะเทือนเฉพาะที่ และตำแหน่งดังกล่าวต้องสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนของโครงสร้างออกมาได้ สำหรับอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ อาจต้องพิจารณาเพิ่มเติมตำแหน่งในการตรวจวัดตามความเหมาะสม

9.6. เกณฑ์การประเมินผลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

9.6.1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกันน้ำ (Bulkhead Mounted)

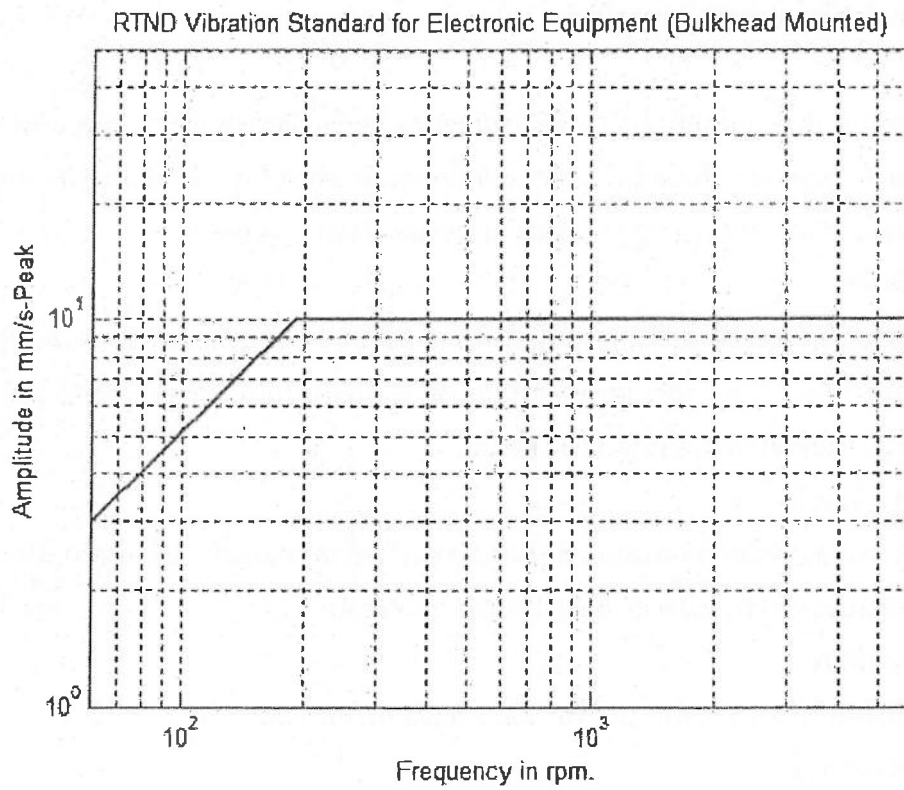
ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 9.1

9.6.2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกล (Machinery Mounted)

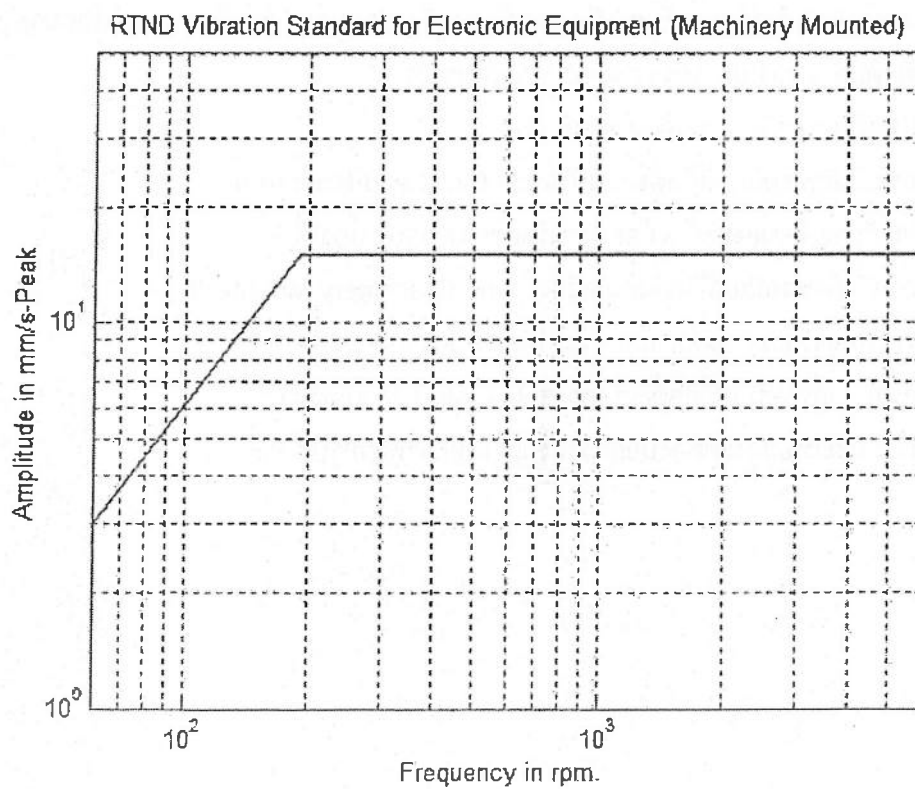
ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 9.2

9.6.3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเสากระโดง (Mast Mounted)

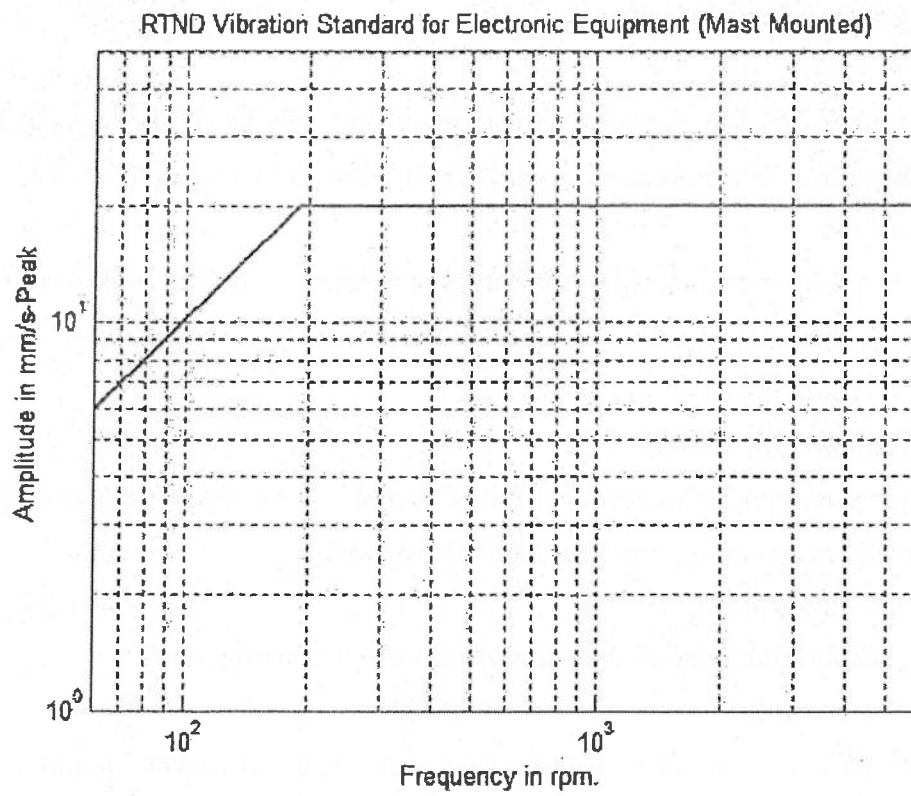
ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 9.3



รูป 9.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกันน้ำ (Bulkhead Mounted)



รูป 9.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกล (Machinery Mounted)



รูป 9.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเสากระโดง (Mast Mounted)

10. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือ

10.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ประกอบด้วยคำแนะนำ ข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผลของค่าการสั่นสะเทือนสำหรับโครงสร้างตัวเรือที่เป็นเหล็ก และอลูมิเนียมเท่านั้น

10.2. ชุดเครื่องมือวัด

รูปแบบของการวัด และอุปกรณ์ในการบันทึกให้ใช้เครื่องมือแบบ อานาล็อก, ดิจิตอล, สเปกตรัม (Spectrum) หรือแบบ Time-Signal โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 2.1 (เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์)

10.3. ทิศทางในการตรวจวัด

ทิศทางของหัวตรวจวัดต้องสอดคล้องกับแกนของเรือทั้งสามแกนอันได้แก่ ตามแนวยาว (Longitudinal), ตามแนวนอน (Transverse) และตามแนวตั้ง (Vertical)

10.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

การตรวจวัดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังในหัวข้อ 2.4 (เงื่อนไขในการตรวจวัด)

10.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด

ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดต้องสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือออกมาได้ สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่อาจต้องพิจารณาเพิ่มเติมตำแหน่งในการตรวจวัดตามความเหมาะสม

10.5.1. ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด ต้องทำการตรวจวัดที่บริเวณกึ่งกลางพื้นที่เฉพาะในแนวดิ่งเท่านั้น

10.5.2. ย่านความถี่ในการตรวจวัด ระหว่าง 1 Hz ถึง 100 Hz

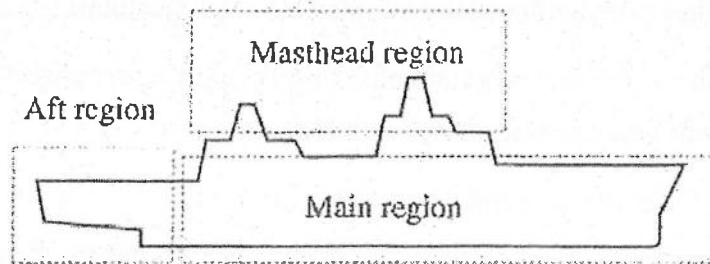
10.5.3. ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 1 นาที แต่ถ้าย่านความถี่ต่ำกว่า 2 Hz ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 2 นาทีต่อครั้ง

10.6 เรือที่มีความยาวมากกว่า 35 เมตร จะแบ่งโครงสร้างตัวเรือออกเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 10.1 ประกอบด้วย

ส่วนโครงสร้างด้านบน (Masthead Region) ประกอบด้วยเสากระโดงเรือ และตาตฟ้าที่เสากระโดงติดตั้งอยู่

ส่วนโครงสร้างหลัก (Main Region)

ส่วนโครงสร้างด้านท้าย (Aft Region) คือโครงสร้างตัวเรือจากด้านท้ายที่มีความยาว $1/5$ ของความยาวเรือทั้งหมด



รูป 10.1 การแบ่งโครงสร้างของเรือ

10.7. เกณฑ์การประเมินผลของโครงสร้างตัวเรือ

ค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือมีองค์ประกอบจากขนาดของการสั่นสะเทือนที่มากระตุ้น (Magnitude of Excitation Force) การเกิดปรากฏการณ์กำจร (Presence of Resonance Condition) และขนาดของตัวหน่วงของโครงสร้าง (Damping of Structure)

การสั่นสะเทือนของโครงสร้างเป็นผลมาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือความแข็งแรงของโครงสร้าง (Stiffened Boundaries) การสั่นสะเทือนของเสากระโดง (Mast Vibration) และการสั่นสะเทือนของท่อทางต่างๆ (Piping Vibration) ดังนั้นการวิเคราะห์จึงจำกัดอยู่ที่การสั่นสะเทือนเฉพาะที่ (Local Vibration) ซึ่งเป็นผลมาจากความแข็งแรงของโครงสร้างที่สัมพันธ์กับขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเหล่านั้น

ค่าการสั่นสะเทือนที่ใช้ประเมินคือค่าสูงสุด (Zero-to-Peak) ในหน่วย มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s-Peak) โดยย่านความถี่ในการประเมินอยู่ระหว่าง 5-100 Hz (300-6000 RPM)

10.7.1. สำหรับเรือที่มีความยาวมากกว่า 35 เมตร เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ (Structural Vibration) แสดงดังในตารางที่ 10.1

โครงสร้างตัวเรือ	เกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือน (mm/s-Peak)
ส่วนโครงสร้างด้านบน (Masthead Region)	15
ส่วนโครงสร้างหลัก (Main Region)	5
ส่วนโครงสร้างด้านท้าย (Aft Region)	7

ตาราง 10.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ (ความยาวเรือมากกว่า 35 เมตร)

สำหรับเรือที่มีความยาวไม่เกิน 35 เมตร จะแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างหลัก (Main Region) และโครงสร้างด้านท้าย (Aft Region) โดยมีเกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ (Structural Vibration) แสดงดังในตารางที่ 10.2

โครงสร้างตัวเรือ	เกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือน (mm/s-Peak)
ส่วนโครงสร้างหลัก (Main Region)	6
ส่วนโครงสร้างด้านท้าย (Aft Region)	7

ตาราง 10.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ (ความยาวเรือไม่เกิน 35 เมตร)

10.7.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงานเป็นประจำ และไม่มีอุปกรณ์สำคัญติดตั้งอยู่ เช่น ถังน้ำมัน หรือถัง Void แสดงดังในตารางที่ 10.3 โดย

10.7.2.1 โครงสร้างที่เป็นเหล็ก (Steel Structure)

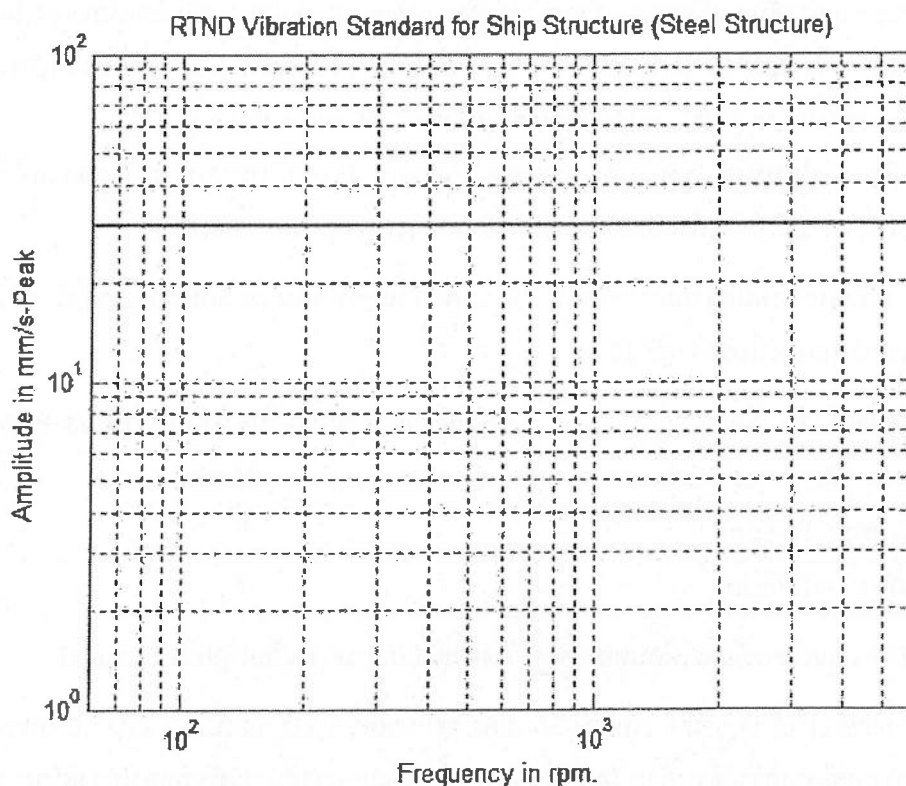
ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 10.1

10.7.2.2 โครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียม (Aluminum Structure)

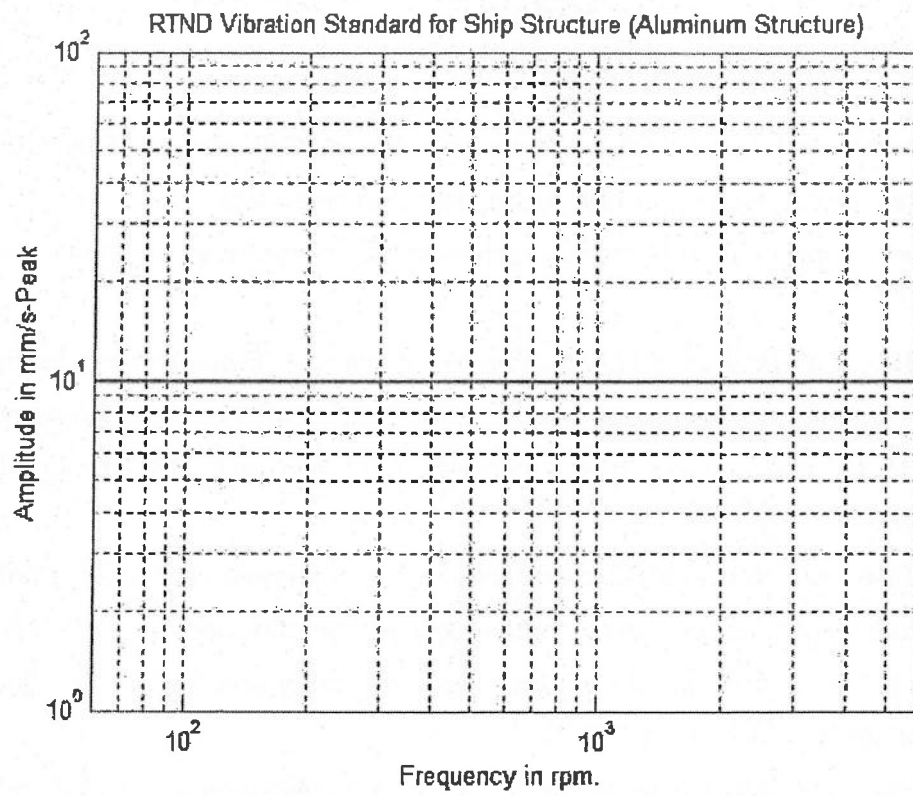
ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 10.2

โครงสร้างตัวเรือ	เกณฑ์มาตรฐานการสั่นสะเทือน (mm/s-Peak)
โครงสร้างที่เป็นเหล็ก (Steel)	30
โครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียม (Aluminum)	10

ตาราง 10.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ



รูป 10.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือที่เป็นเหล็ก (Steel Structure)



รูป 10.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือที่เป็นอลูมิเนียม (Aluminum Structure)

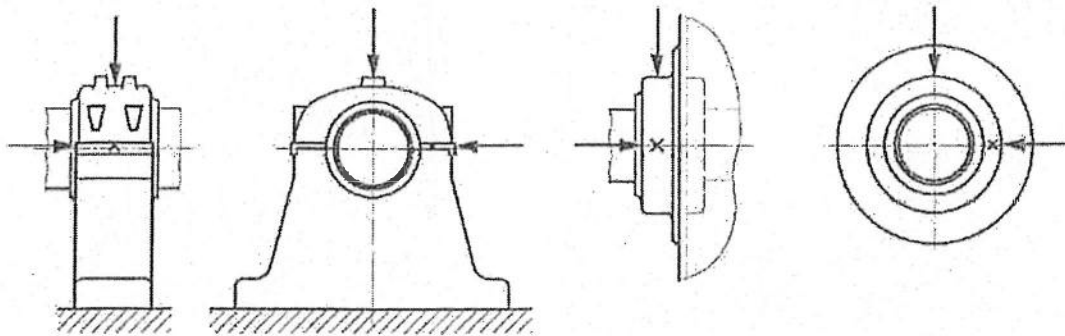
ผนวก ก.

เอกสารอ้างอิง

1. DNV Report No.95-0421, *Guidelines for vibration evaluation*, Report No. 95-0421, 1995
2. DNV Rules for classification of high speed, light craft and naval surface craft, Part 6 Chapter 12, *Special equipment and systems – Additional class – Noise and Vibration*, January 2011
3. ISO 10816-3:2009/AMD 1:2017, *Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ*, 2017
4. ISO 10816-6:1995/AMD 1:2015, *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration Part6: Reciprocating machines with power rating above 100 kW*, 2015
5. ISO 20283-2:2008, *Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships Part 2: Measurement of Structural Vibration*, 2008
6. ISO 20283-3:2006/AMD 1:2016, *Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships Part 3: Pre-installation Vibration Measurement of Shipboard Equipment*, 2016
7. ISO 20283-4:2012/AMD 1:2014, *Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships Part 4: Measurement and evaluation of vibration of the ship propulsion machinery*, 2014
8. ISO 20283-5:2016, *Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships Part 5: Guidelines for measurement, evaluation and reporting of vibration with regard to habitability on passenger and merchant Ships*, 2016
9. ISO 20816-1:2016, *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration Part1: General guidelines*, 2016
10. ISO 21984:2018, *Ship and marine technology – Guidelines for measurement, evaluation and reporting of vibration with regard to habitability on specific ships*, 2018
11. ร่างเกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนของกองควบคุมคุณภาพ (ฉบับร่างเพื่อใช้ในการภายใน) อุทการเรือพระจุลจอมเกล้า พ.ศ.2538

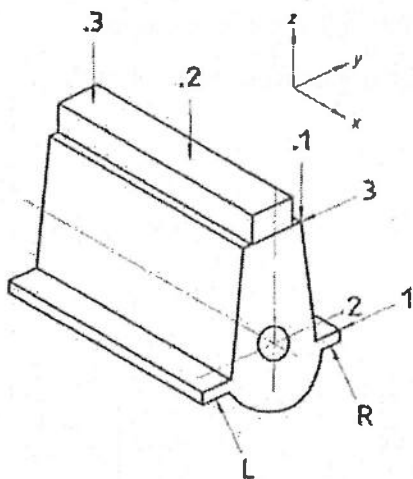
ผนวก ข.

ตำแหน่งของการตรวจวัด



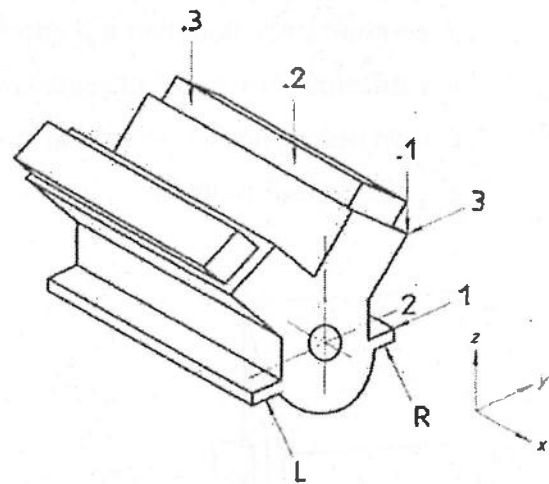
รูป ข.1 ตำแหน่งในการตรวจวัดบนเรือนแปรง (Pedestal Bearing)

และผนังกันน้ำ (Housing-Type Bearing)



รูป ข.2 ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องยนต์
สันดาปภายในที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ

In-Line



รูป ข.3 เครื่องยนต์ดีเซล ที่ไม่ใช่เครื่องอัด
(Compressor) รวมทั้งเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ V-Type

หมายเหตุ

ด้านของการวัด

L ด้านซ้ายของเครื่องเมื่อหันหน้าเข้าหาหน้าแปลนต่อ (Coupling Flange)

R ด้านขวาของเครื่องเมื่อหันหน้าเข้าหาหน้าแปลนต่อ (Coupling Flange)

ตำแหน่งของการวัด

1 ฐานของเครื่อง (Machine end of Mounting)

2 เฟลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)

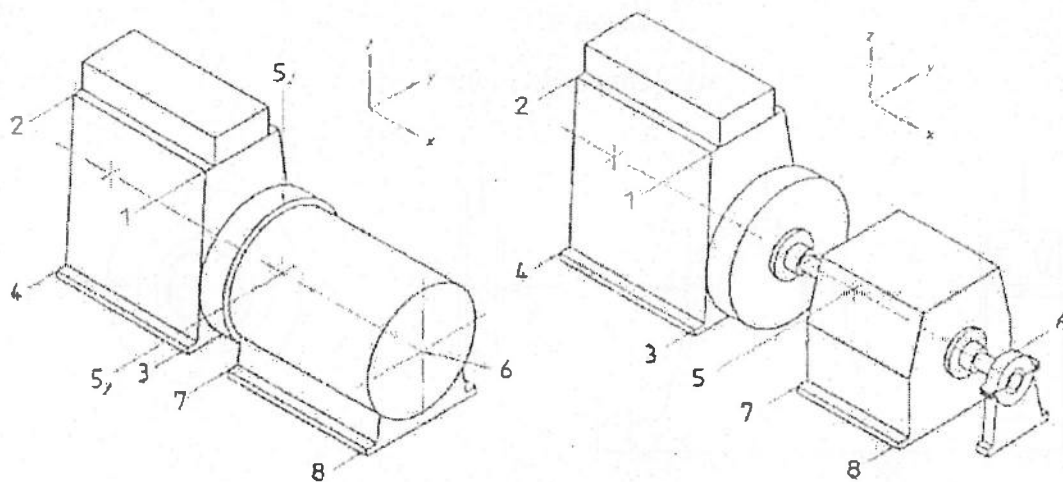
3 ขอบด้านบนของเครื่อง (Top Edge of Frame)

จุดในการตรวจวัด

1 ด้านหน้าแปลนต่อ (Coupling End)

2 กึ่งกลางของเครื่อง (Mid-Machine)

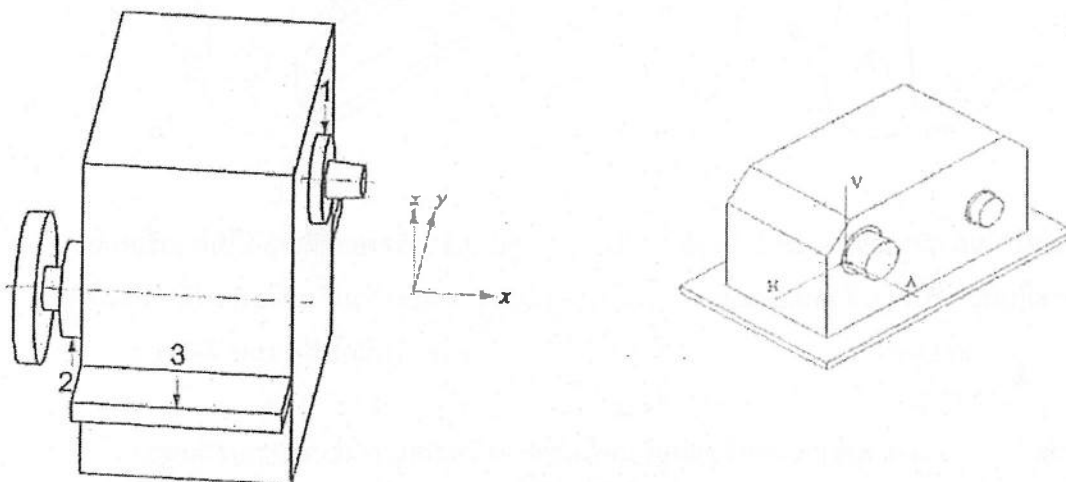
3 ด้านหัวเครื่อง (Free End of Machine)



รูป ข.4 ตำแหน่งในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนเครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนไฟฟ้าแบบ In-Line และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หมายเหตุ

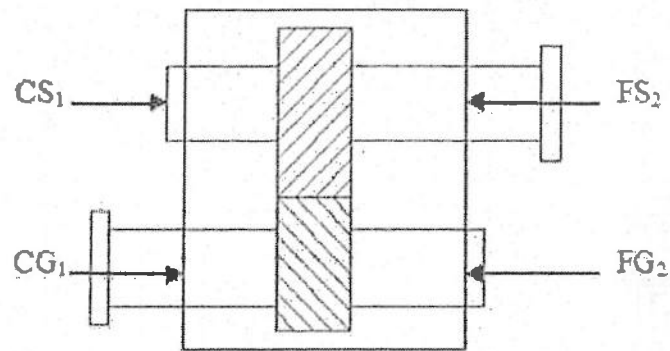
- 1, 2: ขอบบนด้านหน้า (front end top edge) และขอบบนด้านหลัง (back end top edge)
- 3, 4: ขอบด้านหน้า (front end) และขอบด้านหลัง (rear end) ของฐานเครื่อง (engine base)
- 5, 6: Main bearing housing ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 7, 8: ฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูป ข.5 ตำแหน่งในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเกียร์

หมายเหตุ

- ตำแหน่ง 1 คือด้านที่ต่อกับเครื่องต้นกำลังขับ (Power Input)
- ตำแหน่ง 2 คือด้านที่ต่อกับเพลา (Power Output)
- ตำแหน่ง 3 คือโครงสร้างของเกียร์ (Gearbox Bracket)

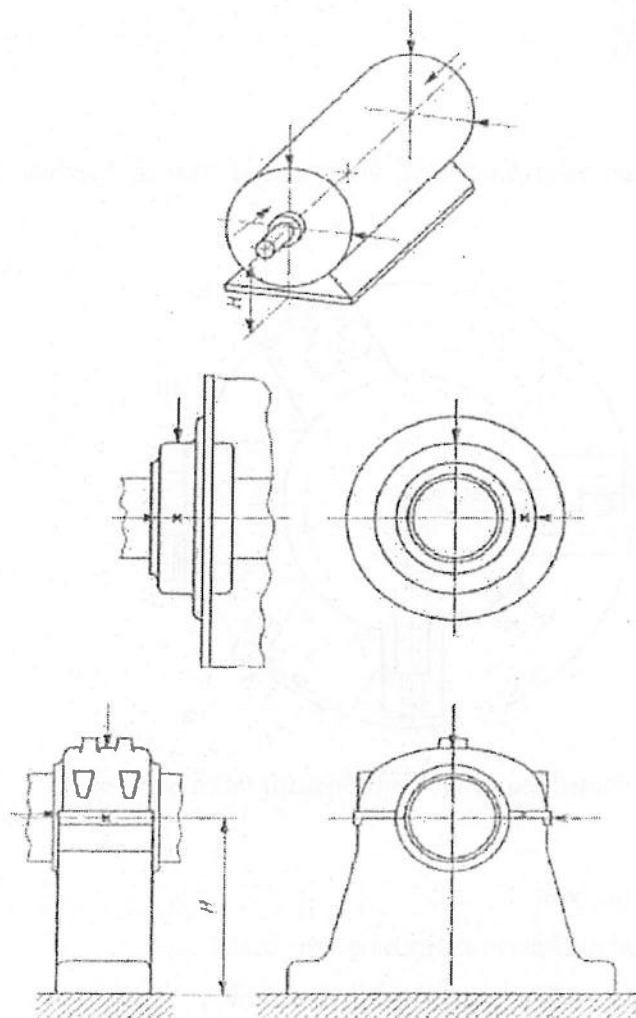


รูป ข.6 ตำแหน่งอย่างน้อยที่ต้องตรวจวัดของเกียร์

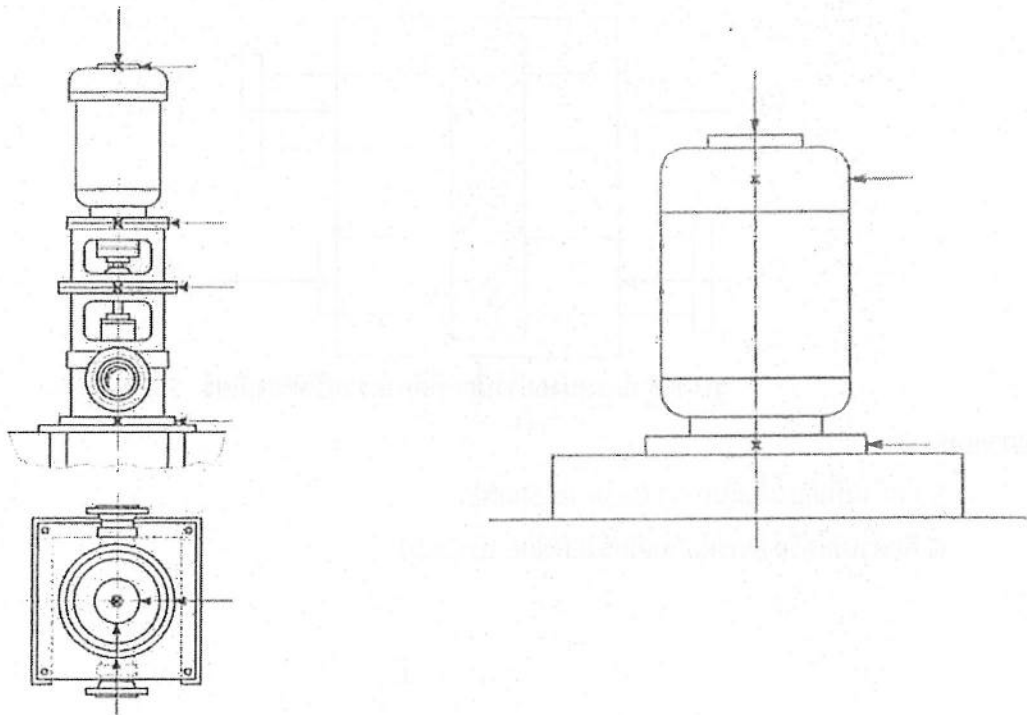
หมายเหตุ

S คือด้านที่เกียร์ต่อกับเพลา (Gear to Shaft)

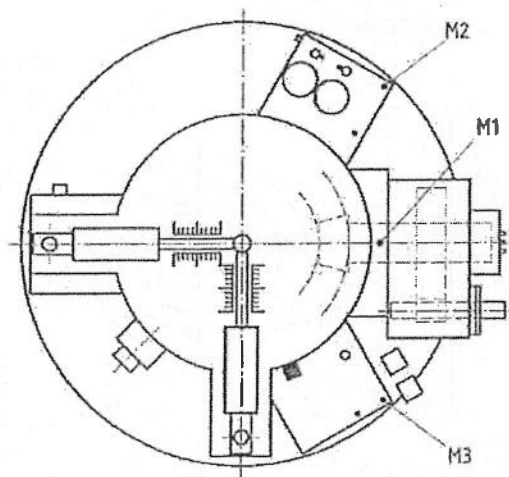
G คือด้านที่เครื่องจักรต่อกับเกียร์ (Engine to Gear)



รูป ข.7 ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องจักรกลทั่วไป (General Machine)



รูป ข.8 ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องจักรกลแบบตั้ง (Vertical Machine Set)



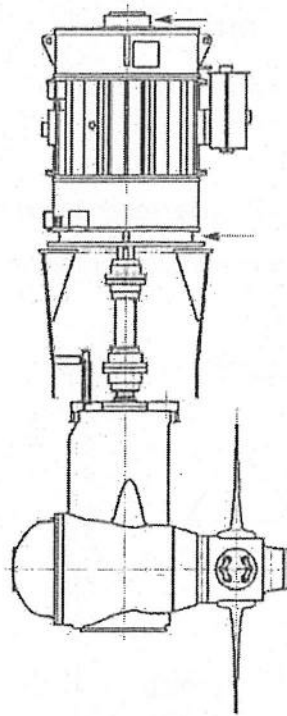
รูป ข.9 ตำแหน่งในการตรวจวัดใบจักรแบบ Voith Schneider

คำอธิบาย

M1 คือส่วนบนของ Input Gear

M2 คือปลายขอบที่เป็นส่วนแข็งแรงของ Housing Arm อันที่ 1

M3 คือปลายขอบที่เป็นส่วนแข็งแรงของ Housing Arm อันที่ 2



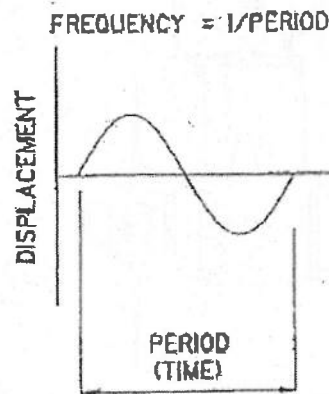
รูป ข.10 ตำแหน่งในการตรวจวัดใบจักรแบบ Transverse Thruster ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแนวดิ่ง

ผนวก ค.

รายละเอียดการคำนวณ

ค.1. ความถี่ และคาบ (Frequency & Period)

- ความถี่ (Frequency, f) = $1/\text{คาบ} = 1/T$, cycle/second (Hz) or cycle/minute (CPM, RPM)
- คาบ (Period, T) = $1/\text{ความถี่} = 1/f$, second/cycle or minute/cycle



รูป ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และคาบ

ค.2. เวลาในการสุ่มตัวอย่าง และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้น (# Lines) และจำนวนตัวอย่าง (# Sample)

$$\begin{aligned} \bullet \quad t_{\max(\text{sec})} &= \frac{60 \times \text{FFT Lines}}{F_{\max}} = \frac{60 \times \text{Sample}}{2.56 \times F_{\max}} \text{ สำหรับการเฉลี่ย 1 ครั้ง} \\ \bullet \quad F_{\max(\text{CPM})} &= \frac{60 \times \text{FFT Lines}}{t_{\max}} = \frac{60 \times \text{Sample}}{2.56 \times t_{\max}} \end{aligned}$$

เมื่อ

$F_{\max}$ = ช่วงความกว้างของความถี่ (Maximum Spectral Frequency or Frequency Span - CPM)

$t_{\max}$ = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจนได้ข้อมูลหนึ่งช่วงเวลา (Total sampling period required to capture one time block of data in second)

Sample size = จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการแปลงข้อมูลจากอนาล็อก เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล

# Lines		# Samples
100	=	256
200	=	512
300	=	1024
400	=	2048
500	=	4096
600	=	8192

ค.3. การประมาณเวลาในการสุ่มข้อมูลตัวอย่างเมื่อทำการเฉลี่ยมากกว่า 1 ครั้ง (Assume no overlap processing)

$$t_{avg(sec)} = \frac{60(\#FFT\ Lines)(\#Average)}{Frequency\ Span\ (CPM)}$$

ค.4. ค่าการสั่นสะเทือน

- Peak-to-Peak Vibration = 2.000 x Peak Vibration
- Peak-to-Peak Vibration = 2.828 x r.m.s. Vibration
- Peak Vibration = 0.500 x Peak-to-Peak Vibration
- Peak Vibration = 1.414 x r.m.s. Vibration
- r.m.s. Vibration = 3.54 x Peak-to-Peak Vibration
- r.m.s. Vibration = 0.707 x Peak Vibration

ค.5. การแปลงหน่วย

$$V = \frac{DF}{27,010}$$

$$D = \frac{27,010V}{F}$$

$$A = \frac{DF^2}{2.53 \times 10^9}$$

$$D = \frac{2.53 \times 10^9 A}{F^2}$$

$$V = \frac{66,170 A}{F}$$

$$A = \frac{VF}{66,170}$$

เมื่อ

A = r.m.s. Acceleration (g)

V = r.m.s. Velocity (mm/s)

D = Peak-to-Peak Displacement (microns)

F = Frequency (CPM, RPM)

$CPM = 60 \times Hz$

ค.6. การประมาณอายุของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Bearing Life Calculation)

$$L_{10} = \left(\frac{16,666}{RPM} \right) \left(\frac{Rating_B}{Load_F} \right)^3 \text{ Hours}$$

$$L = \left[\frac{C}{Fe} \right]^m$$

เมื่อ

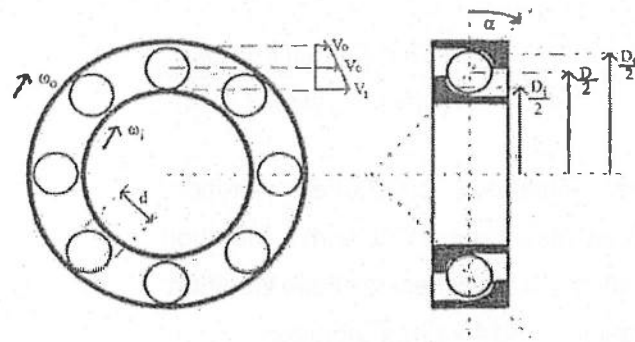
L_{10}, L = จำนวนชั่วโมงที่แบริ่งประเภทเม็ดหมุนสามารถใช้งานได้

$Rating_B, C$ = Basic dynamic load rating สำหรับแบริ่งแต่ละชนิด (kg)

$Load_F, Fe$ = Equivalent bearing load impressed upon a bearing – including radial and axial loads (kg)

m = Load-life exponent ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 สำหรับ Elliptical contact เช่น ball bearing และมีค่าเท่ากับ 1/3 สำหรับ Rectangular contact เช่น roller element bearing

ค.7. การคำนวณค่าถี่การชำรุดประเภทต่างๆ ของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Bearing Defect Frequency



รูป ค.2 Bearing geometry

- ความถี่ของการชำรุดด้านในของร่องราง (Inner Race Defect Frequency or Ball Pass Frequency Inner, $BPFI$)

$$f_{BPFI} = n \frac{(f_o - f_i)}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right)$$

- ความถี่ของการชำรุดด้านนอกของร่องราง (Outer Race Defect Frequency or Ball Pass Frequency Outer, $BPFO$)

$$f_{BPFO} = n \frac{(f_o - f_i)}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right)$$

- ความถี่ของการชำรุดของโครง (Bearing case damage or Fundamental Train Frequency, FTF)

$$f_{FTF} = \frac{f_i \left(1 - \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right)}{2} + \frac{f_o \left(1 + \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right)}{2}$$

- ความถี่ของการชำรุดของเม็ดหมุน (Rolling element damage or Ball or Roller spin frequency, BSF)

$$f_{BSF} = \frac{(f_o - f_i)}{2} \frac{D}{d} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \cos(\alpha) \right)^2 \right)$$

เมื่อ

n คือ จำนวนของเม็ดหมุน (Number of balls or rollers)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดหมุน (Balls or rollers diameter, นิ้วหรือ มม.)

D คือ ระยะห่างระหว่างเม็ดหมุน (Bearing pitch diameter, นิ้วหรือ มม.)

f_i คือ ความเร็วของร่องรางด้านใน (Inner race speed, rpm.) ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับ

ความเร็วของเพลา (Shaft speed, fr rpm.)

f_o คือ ความเร็วของร่องรางด้านนอก (Outer race speed, rpm.) ปกติแล้วจะไม่หมุนทำให้มี

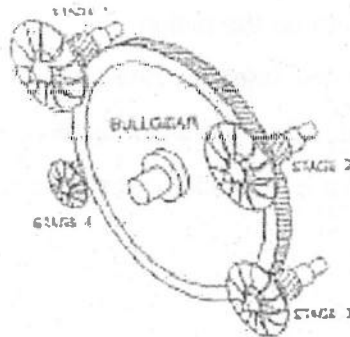
ความเร็วเท่ากับศูนย์

α คือ มุมสัมผัสของภาระ (Load contact angle, องศา)

ค.8. การคำนวณความถี่ของใบพัด (Blade Pass Frequency)

- Blade Pass Frequency (BPF) = Number of Blade x RPM.

ค.9. การคำนวณความถี่ต่างๆ ของเกียร์ (Gear Frequency)



COMPONENT	TEETH	RPM	Hz
Stage 4	25T	42,270	701.13
Stage 3	21T	42,620	709.30
Stage 2	32T	33,490	558.15
Stage 1	42T	23,325	388.75
Bulgear	344T	3,560	59.69

$GMF = \text{Bulgear Teeth} \times \text{Bulgear RPM} = \text{Stage 1 Teeth} \times \text{Stage 1 RPM}$
 $GMF = 344T \times 3560 \text{ RPM} = 20,326 \text{ Hz} \times 42T$
 $GMF = 1,231,680 \text{ CPM} = 20,528 \text{ Hz}$

รูป ค.3 Gear Frequency

- Gear Meshing Frequency (GMF)

Number of Gear Teeth x Gear RPM = Number of Pinion teeth x Pinion RPM

- Gear Assembly Phase Frequency ($GAPF$)

$$GAPF = \frac{GMF}{N_A}$$

เมื่อ

GMF = Gear Meshing Frequency

N_A = Number of unique assembly phases

= Product of the prime numbers (factored from the number of teeth

on the gear and pinion) those are common to both gears.

- Hunting Tooth Frequency (Tooth Repeat Frequency, F_{HT})

$$F_{HT} = \frac{N_A \times GMF}{T_G \times T_P}$$

เมื่อ

F_{HT} = Hunting tooth frequency

GMF = Gear meshing frequency

T_G = Number of teeth on the gear

T_P = Number of teeth on the pinion

N_A = Number of unique assembly phases

= Product of the prime numbers (factored from the number of teeth on the gear and pinion) those are common to both gears.

ผนวก ง.

การกำหนดคำย่อ และการรายงานผล สำหรับการตรวจวัดการสั่นสะเทือน

1 การกำหนดคำย่อแทนเรือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดการสั่นสะเทือนให้ดำเนินการโดยคำย่อจะประกอบด้วยรหัสและหมายเลขของเรือ โดยรหัสของเรือให้ใช้ภาษาอังกฤษ ประกอบด้วยประเภทของเรือ (ชนิด) และหมายเลขของเรือ เช่น ร.ล.จักรีนฤเบศร เป็นเรือบรรทุกเฮลิคอปเตอร์ (CVH) หมายเลขเรือ 911 ก็จะมีรหัส CVH911 หรือ ร.ล.เจ้าพระยา เป็นเรือฟรีเกต (FF) หมายเลขเรือ 455 ก็จะมีรหัส FF455 ส่วนอุปกรณ์ก็จะใช้เป็น เป็นต้น

2 การรายงานผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือน แต่ละหน่วยสามารถกำหนดรูปแบบการรายงานได้ตามความเหมาะสม แต่ต้องประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญอย่างประกอบด้วย

2.1 วันเวลา และสถานที่ที่ทำการตรวจวัด

2.2 รายชื่อผู้ทำการตรวจวัด และหน่วยที่ทำการตรวจวัด

2.3 ชื่อเรือ/อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด

2.4 สภาพของเรือ/อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด รวมทั้งสภาวะแวดล้อมในขณะตรวจวัด เช่น ความเร็วของเรือ/เครื่องจักร เรือผ่านการทำความสะอาดตัวเรือใต้แนวน้ำเมื่อ... เครื่องจักรใหญ่ผ่านการซ่อมทำ...เมื่อ... สภาพท้องทะเล ความลึกของน้ำ ฯลฯ

2.5 ตำแหน่งและทิศทางของการตรวจวัดการสั่นสะเทือน เช่นตำแหน่ง CG ในแนว Axial เป็นต้น

2.6 อุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด วันที่ทำการสอบเทียบอุปกรณ์ครั้งสุดท้าย วิธีการตรวจวัด และการตั้งค่าต่างๆ

2.7 ผลการตรวจวัด เกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือน และการวิเคราะห์ผลการตรวจวัด

ที่	ประเภท (Type)	รหัส
1	เรือบรรทุกเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter Carrier)	CVH
2	ฟริเกต (Frigate)	FF
3	คอร์เวต (Corvette)	FS
4	เรือเร็วโจมตี อาวุธนำวิถี (Fast Attack Craft, Guided Missile)	FAC(G)
5	เรือเร็วโจมตีปืน (Fast Attack Craft)	FAC
6	เรือกวาดทุ่นระเบิดใกล้ฝั่ง (Minesweeper Coastal)	MSC
7	เรือกวาดทุ่นระเบิดน้ำตื้น (Motor Launch Minesweeper/Minesweeping Boat)	MLMS/MSB
8	เรือล่าทำลายทุ่นระเบิดใกล้ฝั่ง (Minehunter, Coastal)	MHC
9	เรือสนับสนุนการต่อต้านทุ่นระเบิด (Mine Countermeasures Support Ship)	MCS
10	เรือระบายพลขนาดใหญ่ (Landing Platform Deck)	LPD
11	เรือยกพลขนาดใหญ่ (Landing Ship, Tank)	LST
12	เรือยกพลขนาดกลาง (Landing Ship, Medium)	LSM
13	เรือยกพลขนาดเล็ก (Landing Ship, Infantry, Large)	LSIL
14	เรือระบายพลขนาดใหญ่ (Landing Craft, Utility)	LCU
15	เรือสนับสนุนการยกพล (Landing Ship Support Large)	LSSL
16	เรือระบายพลขนาดเล็ก (Landing Craft, Vehicle, Personnel)	LCVP
17	เรือระบายพลขนาดเล็ก (Large/Landing craft, Personnel)	LCPL
18	เรือระบายพลขนาดเล็ก (Large/Landing Craft, Personnel, Ramped)	LCPR
19	เรือ ล.	ATC
20	เรือตรวจการณ์ปืน (Patrol Craft)	PG
21	เรือตรวจการณ์ปราบเรือดำน้ำ (Patrol Craft, Antisubmarine)	PC
22	เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง (Coastal Patrol Craft)	PGM/CGC
23	เรือตรวจการณ์ชายฝั่ง (Inshore Patrol Craft)	PCF
24	เรือเร็วตรวจการณ์ลำน้ำ (River Patrol Boat)	PBR
25	เรือยนต์ตรวจการณ์ลำน้ำ (River Patrol Craft)	RPC
26	เรือจู่โจมลำน้ำเครื่องยนต์ติดท้าย (Outboard Motor Assault Boat)	AB(M)
27	เรือจู่โจมลำน้ำแบบพ่นน้ำ (Hydro Jet Assault Boat)	AB(H)
28	เรือส่งกำลังบำรุงขนาดใหญ่ (Replenishment ship, Large)	AOR(H)

29	เรื่อน้ำมัน (Fuel Barge/Fuel Barge (Gasoline))	YO/YOG
30	เรื่อน้ำ (Water Barge)	YW
31	เรือลากจูงขนาดกลาง (Harbor Tug, Medium)	YTM
32	เรือลากจูงขนาดเล็ก (Harbor Tug, Small)	YTL
33	เรือเสบียง (Stores Ship)	AKS
ที่	ประเภท (Type)	รหัส
34	เรือสำรวจขนาดใหญ่ (Oceanographic Research Ship)	AGOR
35	เรือสำรวจขนาดเล็ก (Surveying Ship)	AGSC
36	เรือใช้งานเครื่องหมายทางเรือ (Navigational Aids Service Ship/Buoy Tender)	ABU
37	เรือดำน้ำ (Submarine)	SUB

ตาราง ง.1 ประเภทของเรือ และรหัส

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
L101	อธบ.อร.	DHONBUREE NAVAL DOCKYARD
L102	กทบ.อร.	MINE SQUARDON FLEET
L103	สพ.ทร.	WEAPONERY DEPARTMENT
L104	กชส.อจปร.อร.	REPAIR DIVISION
L105	กาต.คจจ/ร.อร.	MISCELLANEOUS DIVISION
L106	กบก.อจปร.อร	SUPPLY DIVISION
L107	กรก.อจปร.อร.	MECHANICAL DEPARTMENT
L108	สก.บางนา	FLAT BANGNA
L109	สก.บุคคโล	FLAT BUKCALO
L110	สก.ทุ่งมหาเมฆ	FLAT TUNGMAHAMATH
L111	สก.สวนอนันต์	FLAT SUANANAN
L112	สก.ภูติอนันต์	FLAT PUTIANUN
L113	สก.ทร.	SAWATDIKARN
L114	TEST BENCH อจปร.อร.	TEST BENCH PhNDy
L115	อรม.อร.	MAHIDOL-ADULYADEJ NAVAL DOCKYARD
L116	กรก.อรม.อร.	

ตาราง ง.2 รหัสหน่วยบก

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
ACU	เครื่องปรับอากาศ	Air Conditioning Unit
AFS	ระบบกันโคลงเรือ	Active Fin Stabilizer
APU	เครื่องอัดลม	Air Compressor Unit
BAW	ก้านสมอหัวเรือ	Bow Anchor Winch
BDW	ก้านเรียวยนต์	Boat Davit Winch
BTT	ระบบช่วยในการเทียบ หัวเรือ	Bow Thruster
BWP	ระบบสูบน้ำบัลลาสต์ (สูบน้ำถ่วงเรือ)	Ballast Water Pump
CAC	ระบบควบคุมเครื่องอัดลม	Control Air Compressor
CFT	ระบบระบายความร้อนโดยน้ำจืด	Cooling Fresh Water Pump
CPH	ปั๊มสูบน้ำมันระบบปรับพิชไจเจอร์	CPP. Header Tank Topping-up Pump
CPM	สูบหลักระบบปรับพิชไจเจอร์	CPP. Main Pump
CPS	สูบสำรองระบบปรับพิชไจเจอร์	CPP. Stand-by Pump
CSP	ระบบระบายความร้อนโดยน้ำทะเล	Cooling Sea Water Pump
CWP	สูบน้ำเย็น (ระบบเครื่องปรับอากาศ)	Chilled Water Pump
DCS	ระบบเครนบนดาดฟ้า	Deck Crane System
DFP	สูบน้ำมันเชื้อเพลิงสกปรก	Dirty Fuel-oil Pump
DLP	สูบน้ำมันหล่อลื่นสกปรก	Dirty Lubricant-oil Pump
DSU	เครื่องแยกน้ำมันสกปรก	Dirty Separator Unit
DTP	เครื่องกลั่นน้ำ	Distiller Pump
DWP	สูบน้ำสกปรก	Dirty Water Pump
ESP	สูบน้ำฉุกเฉิน	Emergency Submersible Pump
FAC	พัดลมระบบปรับอากาศ	Fan Air Conditioning
FAR	พัดลมห้องเครื่องจักรช่วย (คฟฟ.)	Fan Auxiliary Mach. Room
FMR	พัดลมห้องเครื่องจักรใหญ่ (คจญ.)	Fan Machinery Room
FMU	ระบบน้ำดับเพลิง	Fire Main Unit
FOP	สูบน้ำมันเชื้อเพลิง	Fuel Oil Pump
FSP	สูบน้ำมันเชื้อเพลิงใช้การ	Fuel-oil Service Pump
FTP	สูบถ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	Fuel-oil Transfer Pump
FWP	สูบน้ำจืด	Fresh Water Pump
FWS	สูบน้ำจืดใช้การ	Fresh Water Service-Pump
FWT	สูบถ่ายน้ำจืด	Fresh Water Transfer-Pump
GNS	ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	Generator Set
HAS	ระบบไฮดรอลิคสมอท้ายเรือ	Hydraulic-Unit Stern Anchor
HBA	ระบบไฮดรอลิคสมอหัวเรือ	Hydraulic-Unit Bow Anchor
HBP	สูบเพิ่มกำลังระบบไฮดรอลิค	Hydraulic Booster Pump

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
HDB	ระบบไฮดรอลิกก้านเรือยนต์	Hydraulic-Unit Davit Boat
HSG	ระบบไฮดรอลิกเครื่องหางเสือ	Hydraulic-Unit Steering Gear
HUB	ชุดไฮดรอลิกหัวเรือ	Hydraulic Unit Bow
HUC	ชุดไฮดรอลิกเครน	Hydraulic Unit Crane
HUM	ชุดไฮดรอลิกหลัก	Hydraulic Unit Main
HUS	ชุดไฮดรอลิกท้ายเรือ	Hydraulic Unit Stern
HWP	สูบน้ำร้อน	Hot Water Pump
JP.5S	สูบน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินใช้การ	JP.5 Service
JP.5T	สูบน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินถ่ายถัง	JP.5 Transfer
LAC	ลิฟท์ยกอากาศยาน	Life Aircraft
LGE	สูบน้ำมันหล่อลื่นฉุกเฉิน	Lubricant-oil Gear Emergency
LGS	สูบน้ำมันหล่อลื่นใช้การ	Lubricant-oil Gear Service
LOG	สูบน้ำมันหล่อลื่นเกียร์	Lubricant Oil Gear
LOP	สูบน้ำมันหล่อลื่น	Lubricant Oil Pump
LSG	สูบน้ำทะเลระบายความร้อน นมล.เกียร์	Sea-water Lubricant-oil Gear
PHP	ปั๊มอุ่นน้ำ	Pre-Heater Pump
PMP	สูบลูมิเนียม (ของระบบ Priming)	Priming Pump
PMS	ระบบเครื่องจักรใหญ่	Pri-Mover System
RCU	เครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	Refrigerator Compressor Unit
SAC	สูบน้ำทะเลระบายความร้อนเครื่องปรับอากาศ	Sea Water Air Conditioning
SAW	ก้านสมอท้าย	Stern Anchor Winch
SDP	สูบน้ำทะเลเข้าเครื่องกลั่นน้ำ	Sea-water Distiller Pump
SMB	สูบน้ำใต้น้ำ	Submersible Pump Submersible
SPL	มอเตอร์แยกน้ำมันหล่อลื่น	Separator (Lube oil-Motor)
SPR	มอเตอร์แยกน้ำมันเชื้อเพลิง	Separator (Fuel-Motor)
STG	ชุดเครื่องหางเสือ	Steering-Gear Unit
STP	ระบบกำจัดสิ่งปฏิกูล	Sewage Treatment System
SWP	สูบน้ำทะเล	Sea Water Pump
SWR	สูบน้ำทะเลระบายความร้อนเครื่องทำความเย็น	Sea Water Refrigerator
SWS	สูบน้ำทะเลใช้การ	Sea Water Service-Pump
VFS	ระบบพัดลมระบายอากาศ	Vent Fan System
WLL	สูบน้ำวนเวียน	Water Loop Line

ตาราง ง.3 ชื่อและรหัส เครื่องจักรต่างๆ

รหัส	คำอธิบาย
BR	Bearing
CA	Charge Air Cooler
CG	Coupling End of Engine (DE)
CG	Coupling End of Gear (GB)
CM	Coupling End of Gen. (GNS)
CP	Coupling End of Motor (MT)
CS	Coupling End of Pump (PP)
EC	Coupling End of Shaft (GB)
EE	Engine Coolant Pump (DE)
FF	Engine End (GB)
FG	Fuel Feed Pump (DE)
LG	Free End of Gear/Generator
FM	Loose End of Gear/Generator
LM	Free End of Motor (MT)
FI	Loose End of Motor (MT)
FP	Fuel Injection Pump (DE)
LP	Free End of Pump (PP)
FP	Loose End of Pump (PP)
GC	Fresh Water Pump (DE)
LO	Gear - Casing (DE)
LS	Lubrication Oil Pump (DE)
FS	Loose End of Shaft (SHF)
MB	Main Bearing (DE)
PE	Propeller End (GB)
PH	Piston Head (DE)
PL	Plunger (DE)
SP	Sea Water Pump (DE)
TC	Turbocharger (DE)

ตาราง ง.4 ชื่อและรหัส จุดวัดต่างๆ

รหัส	คำอธิบาย
A-Z	Alphabetical Identification
0-99	Numeric Identification
#	Machine Number
AA	Bank A - Aft End (TC)
AB	Bank B - Aft End (TC)
AC	Bank A - Coupling Position (TC)
AP	Bank A - Blade Position (TC)
BC	Bank B - Coupling Position (TC)
BP	Bank B - Blade Position (TC)
FA	Bank A - Forward End (TC)
FB	Bank B - Forward End (TC)
P#	Position Number #

ตาราง ๓.5 Point ID Code Description

รหัส	คำอธิบาย
A	Axial Direction
H	Horizontal Direction
HL	Horizontal – Ship Longitudinal
HT	Horizontal - Ship Transverse
R	Radial
RA	Right Angle of "A"
V	Vertical

ตาราง ๓.6 Directions Code Description

รหัส	ชื่อภาษาอังกฤษ	คำอธิบาย
CO	Coupling	การต่อวัตถุสองชิ้นให้ติดกัน
DE	Diesel Engine	เครื่องยนต์ดีเซล
FD	Foundation	รากฐาน, พื้นฐาน
GB	Gear Box	ระบบเกียร์
GE	Generator	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
MT	Motor	มอเตอร์
PP	Pump	ปั๊ม, (เครื่องสูบน้ำ)
SC	Sea Water Coolant Pump	ปั๊มระบายความร้อนด้วยน้ำทะเล
SHF	Shafting, Pro - Lay	เพลลาใบจักร
AFT	After End	ทางท้ายเรือ
FWD	Forward End	ทางข้างหน้า
STB	Starboard	กราบขวา
PRT	Port	กราบซ้าย
TOP	Top	บน
BOT	Bottom	ก้น, ส่วนล่างสุด
BOW	Bow	หัวเรือ
STE	Stern	ท้ายเรือ
MID	Middle	ตรงกลาง
GT	Gas Turbine	แก๊สเทอร์ไบน์

ตาราง ง.7 Part Type Name Code Description

Place of test:		Date:	
Name of organization responsible for the test:			
Name of person performing the test:			
Name of ship:		Yard (shipbuilder) and yard number:	
Type of ship:		Date built:	
Hull particulars		Main engine particulars	
Length between perpendiculars, m:		Type:	Number of cylinders:
Breadth moulded, m:	Draught, m:	Number:	Power, kW:
Remarks:		Speed, r/min:	
Propulsion particulars		Measurement conditions	
Number and type:	Number of blades:	Sea state:	Beaufort scale for wind:
		Significant wave height, m:	Wind speed, m/s:
		Depth of water, m:	Wind direction:
Speed, r/min:		Draught forward, m:	Draught aft, m:
Remarks:		Remarks:	
Type and characteristics of measuring instrumentation			
Measuring equipment particulars:			
Functional test:			
Measurement results			
Transducer location	Direction	Overall frequency-weighted r.m.s. values	
		Acceleration mm/s ²	Velocity mm/s
1.			
2.			
3.			
...			

รูป ๔.1 ตัวอย่างการรายงานผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือน

การแจกจ่าย

หน่วย	จำนวนเล่ม	เลขทะเบียน
กพช.อร		
จก.กพช.อร.	1	
ผ.วิชาการ กวจพ.กพช.อร.	1	
ห้องสมุด กวจพ.กพช.อร.	5	
กคก.กพช.อร.	2 (รวมต้นฉบับ)	
กผช.อร.		
กผงร.กผช.อร.	1	
กอร.กผช.อร.	1	
กอจ.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.		
กพด.อจปร.อร.		
กคภ.อจปร.อร.	1	
กขส.อจปร.อร.		
กรก.อจปร.อร.	1	
กรล.อจปร.อร.	1	
กบต.อจปร.อร.		
กบก.อจปร.อร.		

หน่วย	จำนวนเล่ม	เลขทะเบียน
อรม.อร.		
กกก.อรม.อร.		
กพ.อรม.อร.		
กผป.อรม.อร.		
กคก.อรม.อร.	1	
กรก.อรม.อร.	1	
กรล.อรม.อร.	1	
กพฟ.อรม.อร.		
กสน.อรม.อร.		
กพด.อรม.อร.		
กรง.ฐท.สส.		
กผกช.กรง.ฐท.สส.	1	
กงน.กรง.ฐท.สส.	1	
ฐท.สช.		
กงน.ฐท.สช.	1	
ฐท.พง.		
กงน.ฐท.พง.	1	