



มอว. ๒๐๐ – ๐๐๐๒ – ๑๑๔๘

การวิเคราะห์การสิ้นสะท้อนในเรือ

มาตรฐานงานช่าง กรมอุทกทหารเรือ

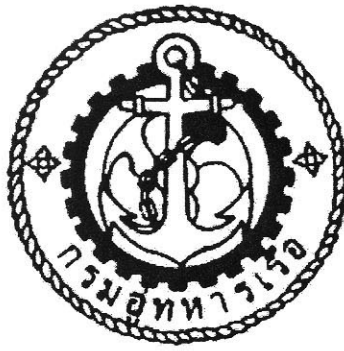
มอร. ๒๐๐ – ๐๐๐๒ – ๑๑๔๘

การวิเคราะห์การสันสะเทือนในเรือ

แก้ไขครั้งที่ _____ เมื่อ _____

แก้ไขครั้งที่ _____ เมื่อ _____

แก้ไขครั้งที่ _____ เมื่อ _____



ประกาศ

เรื่อง กำหนดมาตรฐานงานช่างกรมอุตุนิยมวิทยา

พ.ศ. ๒๕๕๘

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๓ แห่งระเบียบกรมอุตุนิยมวิทยา ว่าด้วยมาตรฐานงานช่าง พ.ศ.๒๕๒๙ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอุตุนิยมวิทยา จึงได้ประกาศ

- ยกเลิก มอว. ๑๐๐ – ๐๐๐๔ – ๐๔๔๔ เกณฑ์มาตรฐานค่าการสันสะท้อนของโครงสร้างตัวเรือ พ.ศ. ๒๕๔๔
 - ใช้มาตรฐานงานช่าง อว. หมายเลข มอว. ๒๐๐ – ๐๐๐๒ – ๑๑๔๘ การวิเคราะห์การสันสะท้อนในเรือ
- ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศ

ประกาศ ณ วันที่ ๑๗ เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๘

พลเรือตรี *W. S. K. S. K.*

(ประสิทธิ์ชัย ศรีวรรณะ)

เจ้ากรมพัฒนาการช่าง

สารบัญ

คำนำ.....	3
1. กล่าวนำ	4
2. การตรวจวัด และการวิเคราะห์	5
2.1. เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์.....	5
2.2. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัด.....	5
2.3. บุคลากรในการตรวจวัด	5
2.4. รูปแบบการเก็บข้อมูล	6
2.5. นิยามศัพท์.....	7
3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน	9
3.1. ขอบเขต	9
3.2. ชุดเครื่องมือวัด	9
3.3. ทิศทางในการตรวจวัด	9
3.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด	9
3.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด.....	9
3.6. เกณฑ์การประเมินผลของห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน	10
4 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องจักรกล	11
4.1. ขอบเขต	11
4.2. ชุดเครื่องมือวัด	11
4.3. ทิศทางในการตรวจวัด	11
4.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด	12
4.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด.....	13
4.6. เกณฑ์การประเมินผลเพลาใบจักร (Shafting).....	14
4.7. เกณฑ์การประเมินผลเครื่องจักรกล (Machinery).....	14
4.7.1 เครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป.....	14
4.7.2 เครื่องยนต์ดีเซลแบบ In-Line, ชุดเครื่องไฟฟ้าแบบ In-Line และชุดเครื่องไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ Single bearing	14
4.7.3 เกียร์ (Gears).....	14
4.7.4 เครื่องจักรกลทั่วไป (Electrical motors, pumps, separators and fans).....	14
4.7.5 เครื่องอัด (Compressors).....	15
4.7.6 แบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Ball & Rolling Element Bearing)	16
5. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	22
5.1. ขอบเขต	22
5.2. ชุดเครื่องมือวัด	22
5.3. ทิศทางในการตรวจวัด	22

5.4.	เงื่อนไขในการตรวจวัด	22
5.5.	ขั้นตอนในการตรวจวัด.....	22
5.6.	เกณฑ์การประเมินผลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	23
5.6.1.	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกั้นน้ำ (Bulkhead mounted).....	23
5.6.2.	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกล (Machinery mounted).....	23
5.6.3.	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเสากระโดง (Mast mounted)	23
6.	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือ.....	26
6.1.	ขอบเขต	26
6.2.	ชุดเครื่องมือวัด	26
6.3.	ทิศทางในการตรวจวัด	26
6.4.	เงื่อนไขในการตรวจวัด	26
6.5.	ขั้นตอนในการตรวจวัด.....	26
6.6.	เกณฑ์การประเมินผลสำหรับโครงสร้างตัวเรือ.....	27
6.6.8.	โครงสร้างที่เป็นเหล็ก.....	27
6.6.9.	โครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียม.....	27
ผนวก ก.	เอกสารอ้างอิง.....	29
ก.1.	เกณฑ์มาตรฐานทั่วไป	29
ก.2.	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน	29
ก.3.	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องจักรกล	29
ก.4.	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	30
ก.5.	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือ.....	30
ผนวก ข.	ตำแหน่งของการตรวจวัด	31
ผนวก ค.	รายละเอียดการคำนวณ	34
ผนวก ง.	การกำหนดคำย่อ สำหรับการตรวจวัดการสิ้นสะท้อน	38
	ตารางที่ ง.1: ชื่อและรหัส เรือและหน่วยต่างๆ.....	38
	หน่วยบก (LU, Land Unit)	43
	ตารางที่ ง.2: ชื่อและรหัส เครื่องจักรต่างๆ	44
	ตารางที่ ง.3: ชื่อและรหัส จุดวัดต่างๆ.....	47
	Position Code Description	47
	Point ID Code Description.....	47
	Directions Code Description.....	48
	Part Type Name Code Description	48
ผนวก จ.	รายการแจกจ่าย	49

คำนำ

การสั่นสะเทือนเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรมีการทำงาน ค่าการสั่นสะเทือนสามารถบ่งชี้สภาพภายในของเครื่องจักรนั้นๆ ได้ อย่างไรก็ตามในการตัดสินว่าเครื่องจักรจะอยู่ในสภาพอย่างไรนั้น จำเป็นที่ต้องมีเกณฑ์มาตรฐานอันหนึ่งไว้ช่วยให้วิศวกรตัดสินใจ อร. ในฐานะหน่วยรับผิดชอบในการซ่อมทำ และเป็นผู้ปฏิบัติงานโดยตรงในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลภายในเรือ ได้ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าวจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำร่างมาตรฐานการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนภายในเรือ ตามคำสั่งกรมอุทหาเรือ (เฉพาะ) ที่ 109/2548 ลง 1 มีนาคม 2548 เรื่องแต่งตั้งคณะทำงานจัดทำร่างมาตรฐานการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเรือ โดยคณะทำงานประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทรงคุณวุฒิ อันประกอบด้วย

1. น.อ.ชรรค์ชัย สมบูรณ์สุข รอง จก.กพช.อร. / หน.คณะทำงาน
2. น.อ.จักรชัย ชื่นวาริน ผอ.กคภ.อร.ม.อร.
3. น.อ.เศวตพันธ์ ประยูรรัตน์ ผอ.กวก.สวพ.ทร.
4. น.อ.บุญฤทธิ์ โปกร์ุด ผอ.กคภ.กพช.อร. / เลขานุการ
5. น.อ.พัลลภ เข้ม้งาน รอง ผอ.กรล.อจปร.อร.
6. น.อ.สกล สิริปทุมรัตน์ รอง ผอ.กคภ.อจปร.อร.
7. น.อ.สถาพร สร้อยสอาด หน.วิเคราะห์งานช่าง กคภ.กพช.อร.
8. น.ท.จตุพล โฉมทองดี นายช่าง แผนกออกแบบเครื่องเย็บฯ กอจ.กพช.อร.
9. น.ท.สุมิตร ชอบสอาด ประจำแผนกวิเคราะห์งานช่าง กคภ.กพช.อร.และ รรภ.นายธง จก.อร.
10. น.ท.دنุพล จาตกานนท์ ประจำแผนกทดสอบเครื่องวัด กคภ.กพช.อร.
11. น.ต.อรรถสิทธิ์ พงษ์เกษตร์กรรม ประจำแผนกทดสอบวัสดุ กคภ.กพช.อร.

คณะทำงานฯ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากมาตรฐานต่างๆ ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งข้อมูลการตรวจวัดที่ผ่านมา โดยได้นำมาศึกษา และวิเคราะห์จนสรุปออกมาเป็นมาตรฐานฯ ฉบับนี้ ซึ่งครอบคลุมอุปกรณ์ที่สำคัญทั้งหมด ที่มีใช้งานอยู่ภายในเรือของ ทร. ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานฯ ฉบับนี้จะช่วยให้การปฏิบัติงานในการซ่อมบำรุงเรือของ อร. มีความเป็นมาตรฐานมากยิ่งขึ้น อนึ่งหากในการปฏิบัติงานมีข้อผิดพลาดของมาตรฐานฯ ที่ตรวจสอบพบ ขอให้รายงานให้กับคณะทำงานฯ เพื่อที่จะได้ตรวจสอบและแก้ไขต่อไป

คณะทำงานจัดทำมาตรฐานการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในเรือ

27 ก.ย. 48

1. กล่าวนำ

การวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนในเรือมีความสำคัญต่อการซ่อมบำรุงเรือ เนื่องจากการตรวจสอบโดยวิธีวัดค่าการสั่นสะเทือนเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในวิธีการหนึ่งในการตรวจสอบสภาวะทางพลวัต (Dynamic) ของเครื่องจักรกล อุปกรณ์และตัวเรือ เพื่อเป็นการวิเคราะห์แนวโน้ม และการวิเคราะห์เพื่อการแก้ไข ของการชำรุดของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอดีตการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนใช้มาตรฐานสากลที่มีอยู่ในขณะนั้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน และต่อมาคงควบคุมคุณภาพ อจปร. อร. (น.อ.เศวตฉัตร ปรียะรัตน์) ซึ่งมีหน้าที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนในเรือของ อร. ได้กำหนดเกณฑ์การวัดการสั่นสะเทือนเพื่อใช้ในการประเมินสภาพของเครื่องจักรกลขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2538 และได้ใช้งานแพร่หลายภายใน อร. โดยเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปจนสามารถนำมาใช้เป็นข้อกำหนดได้ในระดับหนึ่ง แต่เกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวก็ยังไม่ครอบคลุมกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเรือทั้งหมด รวมทั้งในบางกรณีเกิดการขัดแย้งกับเกณฑ์มาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกำหนดไว้สำหรับเครื่องจักรนั้นๆ ทำให้ประสบกับปัญหาที่ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรไม่สามารถตัดสินได้ว่าผ่านตามเกณฑ์หรือไม่ ซึ่งเป็นข้อขัดข้องที่พบในงานควบคุมคุณภาพการสร้างและซ่อมเรือของ อร.

ในฐานะที่ อร. เป็นหน่วยงานรับผิดชอบงานด้านการสร้างและซ่อมบำรุงเรือของ ทร. รวมทั้งมีหน่วยเทคนิคที่รับผิดชอบในการตรวจวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือ อร. จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานการวิเคราะห์เกณฑ์ค่าการสั่นสะเทือนเพื่อใช้งานภายใน ทร. โดยเกณฑ์ดังกล่าวต้องมีความเหมาะสมและสอดคล้องตามมาตรฐานสากลทั่วไปที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งในการจัดทำมาตรฐาน ฯ นี้ อร. ได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำร่างมาตรฐานการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือขึ้น โดยเชิญผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ ความสามารถ และมีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานด้านการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน รวมทั้งได้รวบรวมและแปลเรียบเรียงเอกสารตามความเหมาะสม โดยอ้างอิงจากมาตรฐานที่มีใช้อยู่ในระดับสากล เช่น Technical Report ของ Det Norske Veritas (DNV), International Organization for Standardization (ISO) และ Military Standard (MIL – STD) เป็นต้น สำหรับมาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนในเรือที่ได้จัดทำขึ้นฉบับนี้ได้กล่าวถึงเกณฑ์กำหนดสำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของสถานที่และอุปกรณ์ที่อยู่ภายในเรือ ประกอบด้วย การกำหนดเกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือ ห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน เครื่องจักรกลต่าง ๆ ตลอดจนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งภายในเรือ ซึ่งการกำหนดเกณฑ์ค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวสามารถเสนอขอทบทวนได้ตามความเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องตามข้อกำหนดต่าง ๆ และเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอๆ ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนในเรือฉบับนี้ จะเป็นเอกสารคู่มือที่สามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรกล และผลการซ่อมทำของหน่วยเทคนิคให้มีความถูกต้อง เป็นไปตามมาตรฐานสากล อันจะนำมาซึ่งความมั่นใจให้แก่หน่วยงานต่าง ๆ ที่ อร. ให้การสนับสนุนต่อไป

2. การตรวจวัด และการวิเคราะห์

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

2.1. เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์

2.1.1. เครื่องมือต้องได้รับการปรับเทียบให้ถูกต้องตามเกณฑ์ก่อนการใช้งาน

2.1.2. หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดให้ใช้ระบบ เมตริกซ์

2.1.2.1. ระยะทาง (Displacement) ให้ใช้หน่วย มิลลิเมตร (mm)

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

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

2.1.3. ในการวิเคราะห์ช่วงคลื่นต้องใช้ Window function ที่สามารถให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะแสดงค่าสูงสุดในแต่ละยอดสัญญาณได้ ซึ่งโดยปกติแล้ว Window function ที่ใช้งานมีอาทิเช่น Flat top window, Hanning window สำหรับในการตรวจวัดถ้าไม่ได้กำหนดเป็นกรณีพิเศษแต่อย่างใดแล้ว ให้ใช้ Hanning window ในการวิเคราะห์ช่วงคลื่น

2.1.4. ค่าความละเอียดในการตรวจวัด ต้องใช้ค่าความละเอียดของเครื่องตรวจวัดไม่น้อยกว่า 400 เส้น และย่านความถี่ต้องครอบคลุมความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ และส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องจักรที่ตรวจวัด

2.1.5. ช่วงเวลาในการตรวจวัดแต่ละตำแหน่งต้องใช้เวลาเพียงพอที่จะตรวจวัดได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องของค่าการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งนั้น โดยปกติแล้วจะใช้เวลาในการตรวจวัดไม่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

2.2. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่จะทำการตรวจวัด

2.2.1. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต้องผ่านการทำงานในช่วงทดสอบเรียบร้อยแล้ว

2.2.2. พื้นผิวที่จะใช้ในการตรวจวัดต้องผ่านการเตรียมการให้เหมาะสมกับการติดตั้งหัวตรวจวัด ดังที่ระบุในคู่มือใช้งานของหัวตรวจวัดประเภทต่างๆ ที่จะใช้งาน

2.2.3. เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต้องผ่านการทำสมดุล (Balancing) และการตั้งศูนย์ (Alignment) ตามมาตรฐานสากล หรือตามที่กำหนดไว้โดยบริษัทผู้ผลิตให้เรียบร้อยแล้วก่อนการตรวจสอบ และวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน

2.2.4. ในกรณีที่มีการปฏิบัติแตกต่างจากข้อปฏิบัติในมาตรฐานนี้ ต้องจดบันทึกรายละเอียดต่างๆ ไว้เพื่อการตรวจสอบในภายหลัง

2.3. บุคลากรในการตรวจวัด

2.3.1. ผู้ปฏิบัติงานในการตรวจวัด ต้องผ่านการฝึกอบรมตามหลักสูตรของกรมพัฒนาการช่าง กรมอุตสาหกรรมตามเกณฑ์ที่กำหนด หรือมาตรฐานการฝึกอบรมอื่นๆ ที่เทียบเท่า หรือดีกว่า

2.3.2. ผู้ทำการวิเคราะห์ ต้องผ่านการฝึกอบรมตามหลักสูตรของกรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือ ตามเกณฑ์ที่กำหนด หรือมาตรฐานการฝึกอบรมอื่นๆ ที่เทียบเท่า หรือดีกว่า

2.4. รูปแบบการเก็บข้อมูล

2.4.1. การควบคุมข้อมูล ให้เป็นไปตามระเบียบว่าด้วยการรักษาความลับของทางราชการ พ.ศ. 2544

2.4.2. การเก็บรวบรวมข้อมูลของหน่วยตรวจวัด และวิเคราะห์ให้ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยแยกเป็นข้อมูลของเรือแต่ละลำ ให้เด่นชัดโดยใช้หมายเลขประจำเรือแต่ละลำแทนชื่อเรือที่ตรวจวัด เช่น ร.ล.กระบรีมีหมายเลขประจำเรือคือ 457 ให้ใช้หมายเลข 457 แทนชื่อเรือกระบรี เพื่อให้ง่าย และสะดวกต่อการค้นหา สำหรับเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเรือให้ใช้คำย่อตั้งที่ปรากฏอยู่ใน ผนวก ง. แทนอุปกรณ์นั้นๆ แล้วตามด้วยหมายเลขในกรณีที่มีเครื่องจักรนั้นๆ มากกว่า 1 เครื่อง สำหรับคำย่อที่จะใช้แทนตำแหน่งของการตรวจวัด ให้ดำเนินการตามรายละเอียดในผนวก ง.

2.4.3. ข้อมูลที่สำคัญ และใช้กรอกในรายงานอาจจะเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูลประเภทต่างๆ (Excel, Access, dBase, Fox Pro, My SQL ฯลฯ) เพื่อแสดงผลทางระบบเครือข่ายได้ ทั้งนี้ข้อมูลที่เป็นรายงานต้องเก็บรักษาไว้ ณ หน่วยที่ทำการตรวจสอบ และวิเคราะห์เป็นเวลา 2 (สอง) ปี จึงจะพิจารณาดำเนินการต่อไป ส่วนข้อมูลที่เป็นค่าการตรวจวัดนั้น ให้ทำการบันทึกสำรองข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ทุก ๆ 1 (หนึ่ง) ปี แล้วเก็บรักษาไว้เพื่อการตรวจสอบ เปรียบเทียบ และประเมินผลในอนาคต

2.4.4. ตารางบันทึกข้อมูล การบันทึกข้อมูลลงในตารางให้ใช้แบบฟอร์มดังที่ปรากฏในผนวก ง.

2.4.5. แบบฟอร์มการรายงานผลการตรวจวัดการสิ้นสะท้อน ให้ใช้แบบฟอร์มดังที่ปรากฏในผนวก ง.

2.5. นิยามศัพท์

2.5.1. **Simple harmonic** การเคลื่อนที่ที่เป็นไปตาม **Sine function**

2.5.2. **Amplitude, displacement** ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดของการเคลื่อนที่แบบ **simple harmonic** ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตร (มม., mm)

2.5.3. **Amplitude, velocity** ค่าขนาดความเร็วสูงสุดของการสั่นสะเทือน ของการเคลื่อนที่แบบ **simple harmonic** ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที (มม./วินาที, mm/s)

2.5.4. **ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency)** ความถี่ของระบบที่เกิดขึ้นโดยลักษณะและวัสดุที่ใช้ประกอบ เป็นอุปกรณ์นั้น ๆ โดยไม่มีแรงหรือมีแรงภายนอกมากระทำแต่ ไม่กระทำอย่างต่อเนื่องกับระบบนั้น ๆ ความถี่ธรรมชาตินี้

อาจจะสามารถคำนวณได้โดยสมการ $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $f_n = \frac{60}{2\pi} \omega_n$ 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)

2.5.5. **Resonance** ปรากฏการณ์ก่าวร ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อุปกรณ์นั้นๆ ถูกกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยที่แรงที่มากกระตุ้น (**Excitation force**) นั้นมีความถี่ในการกระตุ้นมีค่าใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับความถี่ธรรมชาติของ อุปกรณ์นั้นๆ และทำให้ขนาดการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์มีค่าเข้าสู่อนันต์ (**Infinity, ∞**) ตามหลักทฤษฎี

2.5.6. **ค่าสูงสุด (Peak value)** ค่า **Amplitude** สูงสุดของการเคลื่อนที่, ความเร็ว หรือ ความเร่ง

2.5.7. **ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (root means square value, rms)** ขนาดของการเคลื่อนที่, ความเร็ว หรือ ความเร่ง ที่สามารถคำนวณได้จากรากที่สองของค่านั้น ๆ กำลังสองเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จาก **ผนวก ค.**

2.5.8. **แนวแกน (Axial)** ทิศทางการตรวจวัดในแนวแกนเพลลาของอุปกรณ์ที่มีส่วนหมุน เช่น เพลลาหรือเพลลา ข้อเสื่อ

2.5.9. **แนวระดับ (Horizontal)** ทิศทางการตรวจวัดที่แกนของหัวตรวจวัดทำมุม 90 องศา (ตั้งฉาก) กับ ทิศทางในแนวแกน โดยที่หัวตรวจวัดอยู่ในลักษณะขนานกับพื้นโลก

2.5.10. **แนวตั้ง (Vertical)** ทิศทางการตรวจวัดที่แกนของหัวตรวจวัดทำมุม 90 องศา (ตั้งฉาก) กับทิศทาง ในแนวแกน โดยที่หัวตรวจวัดอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับพื้นโลก

2.5.11. **แนวรัศมี (Radians)** ทิศทางการตรวจวัดในแนวรัศมีแกนเพลลาของอุปกรณ์ ในกรณีที่ไม่สามารถ ตรวจวัดในแนวระดับหรือแนวตั้งได้

2.5.12. **ค่าความไว (Sensitivity)** ค่าความไวในการตรวจจับการสั่นสะเทือนของหัวตรวจวัด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะ ของแต่ละหัวตรวจวัด

2.5.13. **ค่าการสั่นสะเทือนรวม (Overall Vibration)** ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยของ **Amplitude** ทั้งหมดที่สามารถตรวจวัดได้ในแต่ละแนวแกนของแต่ละรอบความเร็วของการปฏิบัติงานของอุปกรณ์หรือระบบ นั้น ๆ ในแต่ละจุดวัด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

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

2.5.14. ความเร่ง (Acceleration) อัตราการเปลี่ยนความเร็ว มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/วินาที² หรือ G's ($1G = 9.81 \text{ mm/s}^2$) การวัดความเร่งสามารถวัดได้โดยใช้ หัววัดแบบความเร่ง (Accelerometers)

2.5.15. ขนาดค่าการสั่นสะเทือน (Vibration Amplitude) ขนาดของการเคลื่อนที่แบบพลวัต (Dynamic motion) หรือขนาดของการสั่นสะเทือน โดยที่ขนาดของการสั่นสะเทือนแสดงอยู่ในเทอม ของ Peak-to-Peak, Zero-to-Peak หรือ rms โดยที่ $rms = 0.707 \times \text{Zero - to - Peak}$; $\text{Peak-to-Peak} = 2 \times \text{Zero - to - Peak}$.

2.5.16. ความถี่ของใบพัด (Blade Passing Frequency) ความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากใบพัดของ เครื่องจักร (turbine, axial compressor, fan, etc.). ซึ่งคำนวณได้จาก จำนวนใบพัด (number of blades) คูณ ความเร็วในการหมุนของเพลา (shaft-rotating frequency)

2.5.17. ความถี่รางนอกของแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Pass Frequency Outer, BPFO) ความถี่ของรอย บกพร่องที่เกิดขึ้นกับแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Bearing) บนรางนอกของแบริ่ง (Outer races)

2.5.18. ความถี่รางในของแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Pass Frequency Inner, BPFI) ความถี่ของรอย บกพร่องที่เกิดขึ้นกับแบริ่งแบบเม็ดหมุน (Ball Bearing) บนรางในของแบริ่ง (Inner races)

2.5.19. ความถี่ของการขำรดของโครง (Fundamental Train Frequency, FTF) ความถี่ของโครงแบริ่ง

2.5.20. ความถี่ของการขำรดของเม็ดหมุน (Ball or Roller Spin Frequency, BSF) ความถี่ของเม็ดหมุน ของแบริ่ง

2.5.21. การปรับเทียบ (Calibration) คือการตรวจสอบ หรือปรับแต่งเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ถูกต้อง และแม่นยำตามที่กำหนดไว้

2.5.22. ระยะทาง (Displacement) การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือการเปลี่ยนระยะหรือ ตำแหน่งเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง

2.5.23. หัววัดแบบระยะทาง (Displacement Transducer) หัววัดการสั่นสะเทือน ชนิดที่ค่าการสั่นสะเทือน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง

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

2.5.25. ความถี่ของฟันเกียร์ (Gear Mesh Frequency) ความถี่ที่เกิดจากการขบกันของฟันเกียร์ โดย คำนวณจาก ความเร็วรอบการหมุนของเฟืองนั้นๆ คูณกับจำนวนฟันเกียร์

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

2.5.27. ค่าความละเอียด (Resolution) ค่าระยะห่างระหว่างช่วงคำนวณของการแสดงผลบนเครื่องมือ ตรวจวัดการสั่นสะเทือน เช่นตั้งค่าความละเอียดไว้ที่ 400 ค่าช่วงความถี่ในการตรวจวัด (Frequency range) เท่ากับ 16000 CPM ดังนั้นระยะห่างของแต่ละช่วงคำนวณจะมีค่าเท่ากับ $16000/400 = 40 \text{ CPM}$ เป็นต้น

3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน

3.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยคำแนะนำข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผลของค่าการสั่นสะเทือนสำหรับที่พักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน

3.2. ชุดเครื่องมือวัด

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

3.3. ทิศทางในการตรวจวัด

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

3.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

3.4.1. การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัดให้กระทำเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วคงที่

3.4.2. ระวังขับน้ำต้องเป็นระวางขับน้ำปกติของเรือ

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

3.4.4. เครื่องยนต์เดินที่รอบคงที่

3.4.5. การตรวจสอบต้องกระทำในทะเลเรียบ (Quiet Sea) สภาพของทะเลที่ Sea state 3 หรือน้อยกว่า

3.4.6. การตรวจวัดการสั่นสะเทือนต้องตรวจวัดในบริเวณที่มีความลึกไม่ต่ำกว่าสาม (3) เท่าของอัตราการกินน้ำลึกของเรือที่ระวางขับน้ำปกติ

3.4.7. ในการปฏิบัติที่แตกต่างไปจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ที่ทำการตรวจวัดต้องบันทึก และระบุอย่างชัดเจนในรายงานการตรวจสอบ

3.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด

ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดต้องสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือออกมาได้ สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ (ห้องรับประทานอาหาร, ห้องพักผ่อน ฯลฯ) อาจต้องพิจารณาเพิ่มเติมตำแหน่งในการตรวจวัดตามความเหมาะสม

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

3.5.2. ย่านความถี่ในการตรวจวัด ระหว่าง 1 Hz ถึง 100 Hz

3.5.3. ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 1 นาที แต่ถ้าย่านความถี่ต่ำกว่า 2 Hz ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 2 นาทีต่อครั้ง

3.6. เกณฑ์การประเมินผลของห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน

3.6.1. เกณฑ์การสั่นสะเทือนแสดงที่ค่าสูงสุด (Zero-to-Peak) ในหน่วย มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s Peak) โดยย่านความถี่ในการประเมินอยู่ระหว่าง 5 – 100 Hz (300 – 6000 RPM)

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

ตาราง 3.1 ห้องพัก และสถานที่ปฏิบัติงานของลูกเรือ (Crew accommodation and work places)

4 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องจักรกล

4.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยคำแนะนำ ข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผล ของค่าการสั่นสะเทือนสำหรับเพลา, แบริ่งในระบบเพลา, เครื่องยนต์ดีเซล, เครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ **In-line** และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับเครื่องขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ **Single bearing**, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เครื่องเกียร์, เครื่องจักรกลทั่วไป, เครื่องอัด และแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (**Ball or Roller Element Bearing**)

4.2. ชุดเครื่องมือวัด

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

4.3. ทิศทางในการตรวจวัด

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

4.3.1. เพลาใบจักร

ต้องวางหัวตรวจวัดที่ตำแหน่งเปลือกนอกของแบริ่ง

4.3.2. เครื่องยนต์ดีเซล ที่ไม่ใช่เครื่องอัด (**Compressor**)

4.3.2.1 การตรวจวัดที่ยอดสูบต้องวางตำแหน่งของหัวตรวจวัดในแนวแกน และแนวรัศมี

4.3.2.2 การตรวจวัดที่แบริ่งเพลาช้อเหวียง ต้องวางตำแหน่งของหัวตรวจวัดดังแสดงไว้ในรูปที่ ข.1 – ข.3 (ผนวก ข.)

4.3.3. เครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ **In-line** และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

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

4.3.4. เครื่องเกียร์

ตำแหน่งที่วัดต้องเป็นตำแหน่งที่การสั่นสะเทือนสามารถส่งผ่านมาได้มากที่สุด สำหรับเครื่องเกียร์ต้องศึกษา ส่วนประกอบภายในเกียร์ของเกียร์แต่ละแบบ ซึ่งตำแหน่งวัดต้องทำการตรวจวัดตามรูปที่ ข.5 (ผนวก ข.) โดยให้วัดภายนอกเครื่องเกียร์ในตำแหน่งที่ใกล้แบริ่งมากที่สุด ตำแหน่งจุดวัดอย่างน้อยที่สุดที่ต้องวัดได้แสดงไว้ในรูปที่ ข.6 (ผนวก ข.)

4.3.5. เครื่องจักรกลทั่วไป

ต้องให้ตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งที่ใกล้แบริ่งมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูป ข.7 – ข.8 (ผนวก ข.)

4.3.6. เครื่องอัด (**Compressor**)

ต้องวางหัวตรวจวัดที่ตำแหน่งยอดสูบ รวมทั้งแบริ่งของเพลาช้อเหวียงในแนวเดียวกับเครื่องยนต์ดีเซลดังในข้อ 4.3.2

4.3.7. แบริ่งประเภทเม็ดหมุน

ต้องวางหัวตรวจวัดภายนอกเครื่องจักรในตำแหน่งใกล้เคียงมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูป ข.8 (ผนวก ข.)

4.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

4.4.1. เพล่าใบจักร

4.4.1.1 เรือต่อใหม่ ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องยนต์หมุนด้วยความเร็ว 50% , 75% และ 100% ของความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงความเร็วอื่นๆ ที่ทำให้ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุด โดยที่อุณหภูมิ และสภาพการหล่อลื่นต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้โดยบริษัทผู้ผลิต การตั้งค่าย่านความถี่ของแบริ่งรับเพลลาชนิดแบริ่งกาบ ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องตั้งค่าไม่น้อยกว่า 20 เท่า สำหรับการตรวจวัดแบริ่งประเภทเม็ดหมุน ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.5.9 แบริ่งประเภทเม็ดหมุน

4.4.1.2 เรือซ่อม ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องยนต์หมุนด้วยความเร็ว 50% และ 75% ของความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงความเร็วอื่นๆ ที่ทำให้ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุด โดยที่อุณหภูมิ และสภาพการหล่อลื่นต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้โดยบริษัทผู้ผลิต การตั้งค่าย่านความถี่ของแบริ่งรับเพลลาชนิดแบริ่งกาบ ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องตั้งค่าไม่น้อยกว่า 20 เท่า สำหรับการตรวจวัดแบริ่งประเภทเม็ดหมุน ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.5.9 แบริ่งประเภทเม็ดหมุน

4.4.2 เครื่องยนต์ดีเซล

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

4.4.3 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าแบบ V-Type และ In - line

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

4.4.3.2 ในกรณีที่กำลังจ่ายภาระอยู่ ต้องทำการตรวจวัดตามข้อ 4.4.4

4.4.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำการจ่ายภาระที่ 50%, 75% และ 100% ของความสามารถในการจ่ายภาระของเครื่องนั้นๆ

4.4.5 เครื่องเกียร์

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องเกียร์ทำงานจ่ายภาระตามความสัมพันธ์กับเครื่องยนต์ขับเคลื่อนในระบบขับเคลื่อน ตามข้อ 4.4.2 ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่นต้องตั้งค่าย่านความถี่ในการตรวจวัดไม่น้อยกว่า 3.25 เท่าของความถี่ Gear Meshing Frequency (GMF) หากไม่สามารถคำนวณหาความถี่ GMF ได้ให้ตั้งค่าย่านความถี่ในการตรวจวัดเท่ากับ 100 เท่าของความเร็วรอบในการตรวจวัด สำหรับการตรวจวัดเฉพาะแบริ่งประเภทเม็ดหมุนซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องเกียร์นั้น ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในหัวข้อ 4.4.9

4.4.6 เครื่องจักรกลทั่วไป

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานด้วยความเร็วรอบทำงานปกติ และจ่ายภาระตามที่ได้ออกแบบไว้ เกณฑ์นี้สามารถใช้ได้กับเครื่องจักรกลที่มีแบริ่งประเภทเม็ดหมุนเป็นส่วนประกอบเท่านั้น หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดคือ mm/s (RMS) และให้ใช้ค่าการสั่นสะเทือนรวม (Overall vibration) ในการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ โดยแบ่งเครื่องจักรที่จะสามารถตรวจวัดได้ออกเป็นสองประเภทคือ

4.4.6.1 เครื่องจักรที่มีฐานแทนแน่นหนาแข็งแรง (Rigidly mounted machine)

4.4.6.2 เครื่องจักรที่อยู่บนฐานสปริง หรือฐานรองรับหยุ่นอื่นๆ (Elastically mounted machine)

4.4.7 เครื่องอัด (Compressor)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วรอบทำงาน

4.4.8 แบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Ball & Roller Element Bearing)

ต้องทำการตรวจวัดในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วรอบปกติ ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบสภาพของแบริ่งเป็นการเฉพาะเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติต้องตั้งค่าย่านความถี่ในการตรวจวัดเพื่อการวิเคราะห์โดยเฉพาะต้องตั้งค่าไม่ต่ำกว่า 40 เท่าของความถี่ที่ทำการตรวจสอบ ค่าความละเอียด (Lines resolution) ไม่ต่ำกว่า 1600 เส้น (FFT Lines) หน่วยที่ตรวจวัดคือ mm/s (RMS) ยกเว้นในกรณีที่ตรวจวัดอุปกรณ์เครื่องจักรกลใดๆ ที่ตรวจวัดในหน่วย mm/s (Peak) แล้วต้องการประเมินสภาพแบริ่งประเภทเม็ดหมุนด้วย ให้ใช้หน่วยที่ตรวจวัดแบบ mm/s (Peak) ในการประเมินสภาพ

4.4.9 การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัดให้กระทำเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วคงที่

4.4.10 ระวังขับน้ำต้องเป็นระวางขับน้ำปกติของเรือ

4.4.11 ในการเดินเรือต้องเดินหน้าในลักษณะไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งขณะที่ตรวจวัดต้องใช้หางเสือในอัตราที่มุม 0 องศา \pm 2 องศา (ใช้หางเสือให้น้อยที่สุด)

4.4.12 เครื่องยนต์เดินที่รอบคงที่

4.4.13 การตรวจสอบต้องกระทำในทะเลเรียบสภาพของทะเลที่ Sea state 3 หรือน้อยกว่า

4.4.14 การตรวจวัดการสั่นสะเทือนต้องตรวจวัดในบริเวณที่มีความลึกไม่ต่ำกว่าสาม (3) เท่าของอัตราการกินน้ำลึกของเรือที่ระวางขับน้ำปกติ

4.4.15 ในการปฏิบัติที่แตกต่างไปจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ที่ทำการตรวจวัดต้องบันทึก และระบุอย่างชัดเจนในรายงานการตรวจสอบ

4.5 ขั้นตอนในการตรวจวัด

สำหรับการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลนั้น การตรวจวัดต้องกระทำบนชิ้นส่วนที่สามารถทำการตรวจวัดได้ โดยต้องทำการตรวจวัดด้วยความระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าการตรวจวัดได้แสดงค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง โดยจะไม่ตรวจวัดค่าการ (Resonance) ของพื้นที่นั้น และสิ่งที่จะส่งผลให้เกิดการขยายสัญญาณสูงเกินความเป็นจริง ตำแหน่งและทิศทางของการตรวจวัดต้องเป็นตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดค่าแรงพลวัตของเครื่องจักรได้โดยง่าย

4.5.1 ตรวจสอบสภาพการหล่อลื่น อุณหภูมิ และค่าตัวแปรต่างๆ ของเครื่องยนต์ก่อนการตรวจวัด

4.5.2 การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัด ให้ทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

4.5.2.1 เพล่าไบจักร ต้องให้ทำการบันทึกเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วตามข้อ 4.4.1 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

4.5.2.2 เครื่องยนต์ดีเซล ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วตามข้อ 4.4.2 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

4.5.2.3 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.3 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

4.5.2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.4 ไม่น้อยกว่า 5 นาที

- 4.5.2.5 เครื่องเกียร์ ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.5 ไม่น้อยกว่า 5 นาที
- 4.5.2.6 เครื่องจักรกลทั่วไป ต้องทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเมื่อทำการจ่ายภาระตามข้อ 4.4.6 ไม่น้อยกว่า

5 นาที

- 4.5.2.7 เครื่องอัด ให้ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องอัดทำงานตามข้อ 4.4.7 ไม่น้อยกว่า 5 นาที
- 4.5.2.8 แบร์ริงประเภทเม็ดหมุน ให้ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องจักรทำงานตามข้อ 4.4.8 ไม่น้อยกว่า

5 นาที

4.6 เกณฑ์การประเมินผลเพลาใบจักร (Shafting)

ค่าเกณฑ์การสันสะเทือนที่ของเพลาใบจักรเป็นดังในรูป ที่ 4.1

4.7 เกณฑ์การประเมินผลเครื่องจักรกล (Machinery)

เครื่องจักรกลที่ทำงานผิดปกติ มักจะเกิดจากการสันสะเทือน เมื่อนำค่าเกณฑ์การสันสะเทือนที่กำหนดนี้ไปพิจารณา ต้องคำนึงว่าค่าการสันสะเทือนของเครื่องจักรกล/อุปกรณ์ต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ

- การสันสะเทือนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายในเครื่องจักรกล/อุปกรณ์เอง (Internal excitation)
- การสันสะเทือนที่เกิดจากการกระตุ้นของแหล่งกำเนิดภายนอกเครื่องจักรกล/อุปกรณ์ (External excitation)

การตรวจวัดค่าการสันสะเทือนต้องตรวจวัดที่อุณหภูมิใช้งานปกติ ค่าเกณฑ์การสันสะเทือนที่กำหนดให้สามารถใช้ได้กับความเร็วในการใช้งานทุกย่านความเร็ว และทุกภาระขณะใช้งานที่สภาวะคงที่

4.7.1 เครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป

- ค่าการสันสะเทือนที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 26 mm/s (Peak) ดังแสดงเป็นเกณฑ์ไว้ตามรูปที่ 4.2

หมายเหตุ เกณฑ์ที่กำหนดนี้ไม่สามารถใช้ในการประเมินเครื่องยนต์ประเภทสูบในแนวเดียว (In-Line Engine)

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

- ค่าการสันสะเทือนที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 45 mm/s (Peak) ดังแสดงเป็นเกณฑ์ไว้ตามรูปที่ 4.3

4.7.3 เกียร์ (Gears)

ค่าเกณฑ์การสันสะเทือนของเกียร์ (Gear Meshing Frequency) ปรากฏดังในรูป 4.7 ซึ่งการคำนวณการสันสะเทือนของเครื่องเกียร์จะสามารถคำนวณได้ดังในผนวก ค. (หัวข้อ ค.9 การคำนวณความถี่ต่างๆ ของเครื่องเกียร์) คือ

- ค่าการสันสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกราฟตามรูปที่ 4.4

4.7.4 เครื่องจักรกลทั่วไป (Electrical motors, pumps, separators and fans)

เกณฑ์การสันสะเทือนที่กำหนดไว้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ต่อไปนี้

4.7.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไป (Electrical motor)

4.7.4.2 ปั๊ม (Pump)

4.7.4.3 MG-Set

4.7.4.4 เครื่องแยกน้ำมันเชื้อเพลิง และเครื่องแยกน้ำมันหล่อ (Fuel and Lubricating oil separator)

4.7.4.5 ปั๊มไฮดรอลิกส์แบบแรงเหวี่ยง (Hydraulic centrifugal pump)

4.7.4.6 สกรูปั๊มแบบแรงเหวี่ยง และแบบ Rotary ทั้งแบบตั้งที่มีความสูงไม่เกิน 2.0 เมตร และ แบบนอน (Centrifugal and rotary screw pumps vertical pumps with height up to 2.0 m and horizontal pumps)

4.7.4.7 พัดลม (Fans)

- ค่าการสันสะเทือนสูงสุดของเครื่องจักรที่มีฐานแทนหนาแข็งแรงต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟตามรูปที่ 4.5 เกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องจักรกลทั่วไป (General Machinery)

- ค่าการสันสะเทือนสูงสุดของเครื่องจักรที่มีฐานสปริงหรือฐานรองรับยืดหยุ่นอื่น ๆ ต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับเส้นประของกราฟตามรูปที่ 4.5 เกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องจักรกลทั่วไป (General Machinery)

4.7.5 เครื่องอัด (Compressors)

4.7.5.1. เกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องอัดแบบ Screw type

4.7.5.1.1. ติดตั้งแบบฐานแบบคงที่ (Fixed mounted screw type compressor) ที่การสันสะเทือนเกิดจากแหล่งกำเนิดภายใน ค่าการสันสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟรูปที่ รูป 4.6 เกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องอัดแบบฐานคงที่

4.7.5.1.2. ติดตั้งแบบฐานแบบยืดหยุ่น (Elastically mounted screw type compressor) ค่าการสันสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟรูปที่ รูป 4.7 เกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องอัดแบบฐานยืดหยุ่น

4.7.5.2. เครื่องอัดแบบข้อเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Reciprocating compressor)

เครื่องอัดแบบข้อเลื่อน-ข้อเหวี่ยง ที่ติดตั้งแบบฐานแข็งแรง และฐานยืดหยุ่นที่ติดตั้งแบบฐานแบบคงที่ (Fixed mounted screw type compressor) ค่าการสันสะเทือนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟรูปที่ 4.8 เกณฑ์การสันสะเทือนของเครื่องอัดแบบข้อเหวี่ยง

หมายเหตุ การตรวจวัดของเครื่องอัดทั้งสองแบบต้องตรวจวัดที่ตำแหน่งของเรือนแบร์ริง และ bearing pedestal สำหรับเครื่องอัดที่ติดตั้งในแนวระดับ (Horizontally mounted compressor) ในกรณีของเครื่องอัดที่ติดตั้งในแนวตั้ง หรือที่ติดตั้งในแนวลาดเอียง (Vertically or inclined machines) ตำแหน่งในการตรวจวัดต้องให้ค่าการสันสะเทือนที่สูงที่สุด

4.7.6 แบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Ball & Rolling Element Bearing)

ก่อนการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบริ่งนั้น ผู้ตรวจวัดจำเป็นต้องคำนวณค่าความถี่ซ้ำรูดของแบริ่ง (Faulty Frequency) ในแต่ละย่านความเร็วที่ตรวจวัดออกมาเสียก่อนแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงของแต่ละ Amplitude ของการซ้ำรูดประเภทต่างๆ ของแบริ่ง (BPFO, BPFI, FTF, BSF) ณ Harmonics ต่างๆ

โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณความถี่ซ้ำรูดของแบริ่ง คือ

4.7.6.1 ประเภทของแบริ่ง (Roller , Ball, Needle or Spherical)

4.7.6.2 ความเร็วของเพลลา (Shaft Speed)

4.7.6.3 ขนาดโครงสร้างของแบริ่ง (Bearing Geometry)

4.7.6.4 จำนวนเม็ดหมุน (Number of Ball , Roller)

4.7.6.5 มุมสัมผัสของภาระที่กระทำกับแบริ่ง (Load Contact Angle)

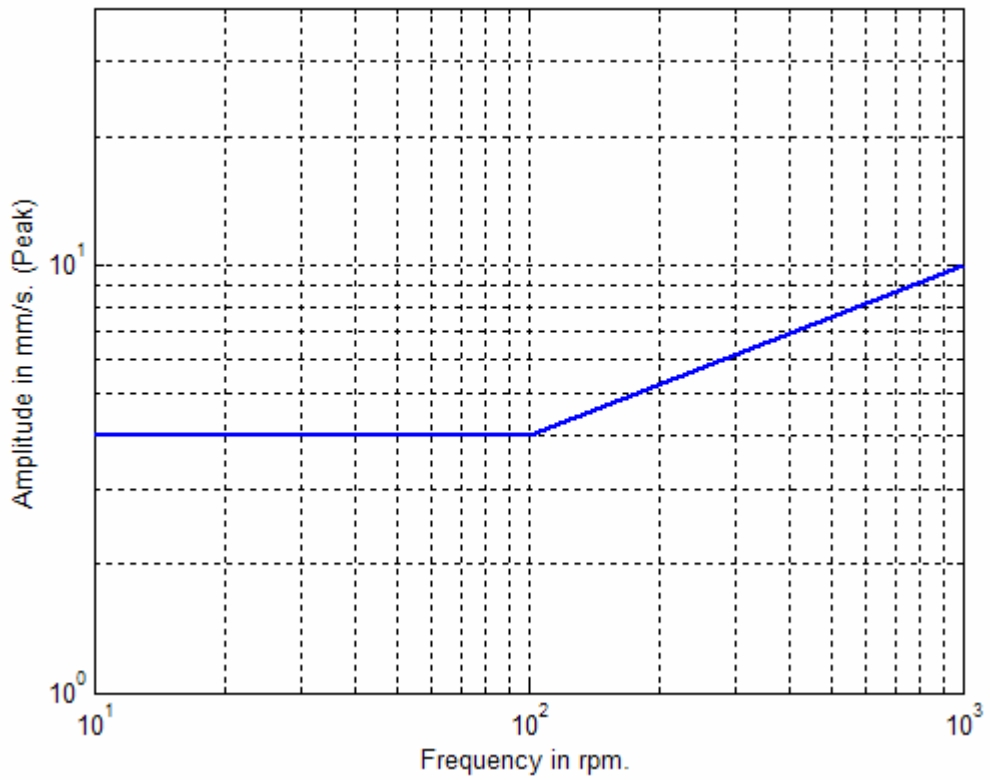
ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำมาคำนวณค่าความถี่ซ้ำรูดของแบริ่งประเภทต่าง ๆ คือ

- การซ้ำรูดที่ด้านในของร่องราง (Ball Pass Frequency Inner, BPFI)
- การซ้ำรูดที่ด้านนอกของร่องราง (Ball Pass Frequency Outer, BPFO)
- การซ้ำรูดของเม็ดบอล (Ball Spin Frequency, BSF)
- การซ้ำรูดของโครง (Fundamental Train Frequency, FTF)

หลักการคำนวณค่าความถี่ซ้ำรูดของแบริ่งได้แสดงไว้ในผนวก ค. (หัวข้อ ค.7 การคำนวณค่าถี่การซ้ำรูดประเภทต่างๆ ของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน)

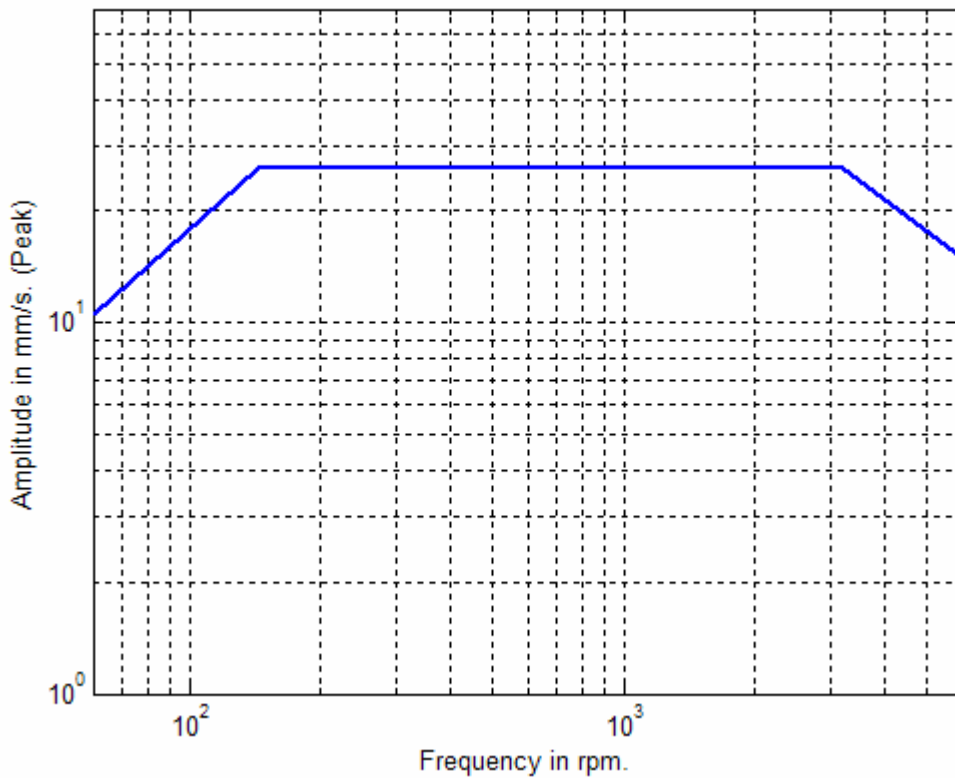
- ค่าการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทึบของกราฟในรูปที่ 4.9 เกณฑ์มาตรฐานของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Rolling Element Bearing) สำหรับหน่วย mm/s (RMS) ในกรณีตรวจวัดแบริ่งประเภทเม็ดหมุนทุกๆ ไปโดยเฉพา
- ค่าการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นประของกราฟในรูปที่ 4.9 เกณฑ์มาตรฐานของแบริ่งประเภทเม็ดหมุน (Rolling Element Bearing) สำหรับหน่วย mm/s (Peak) ในกรณีที่ตรวจวัดอุปกรณ์เครื่องจักรกลอื่นๆ (เช่นเครื่องเกียร์) แล้วต้องการประเมินผลแบริ่งประเภทเม็ดหมุนด้วย

RTND Vibration Standard for Propeller Shafting : Journal Bearing

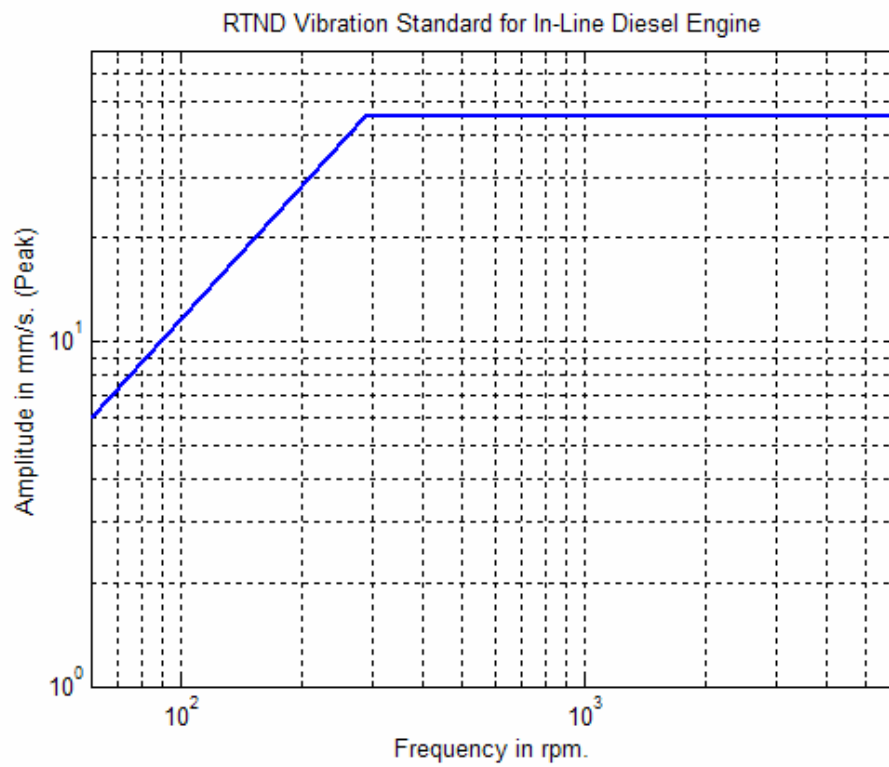


รูป 4.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเพลาลำจักร

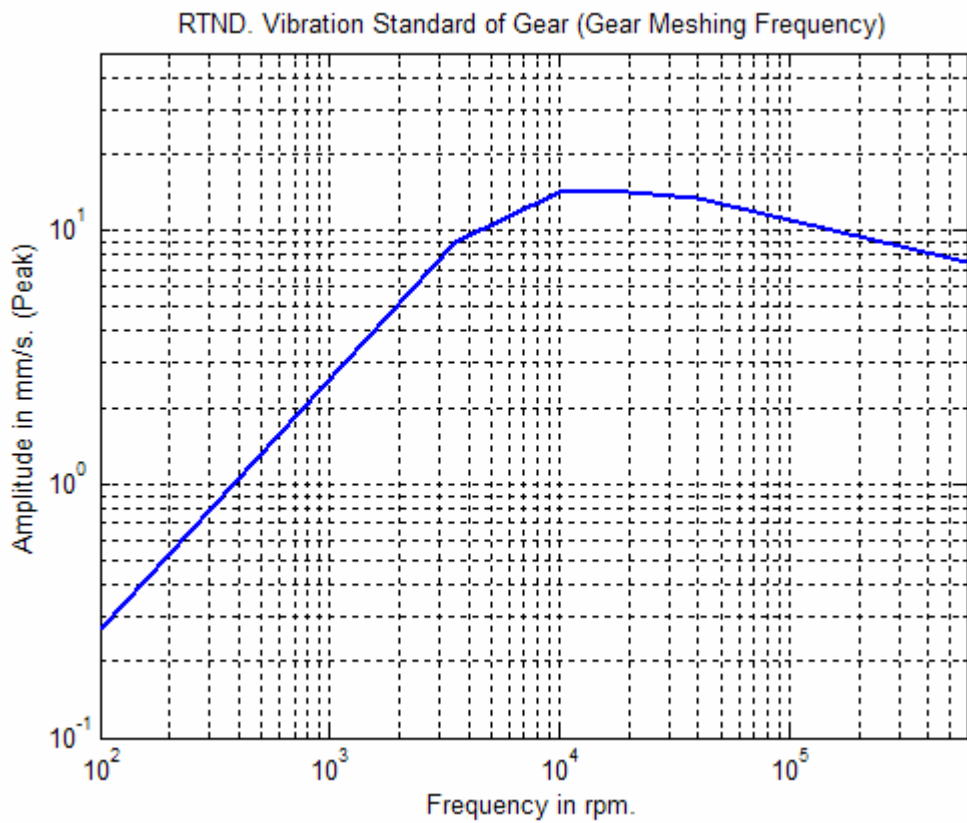
RTND Vibration Standard for Diesel Engine



รูป 4.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนเครื่องยนต์ของดีเซล (ไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ประเภท In – Line ได้)

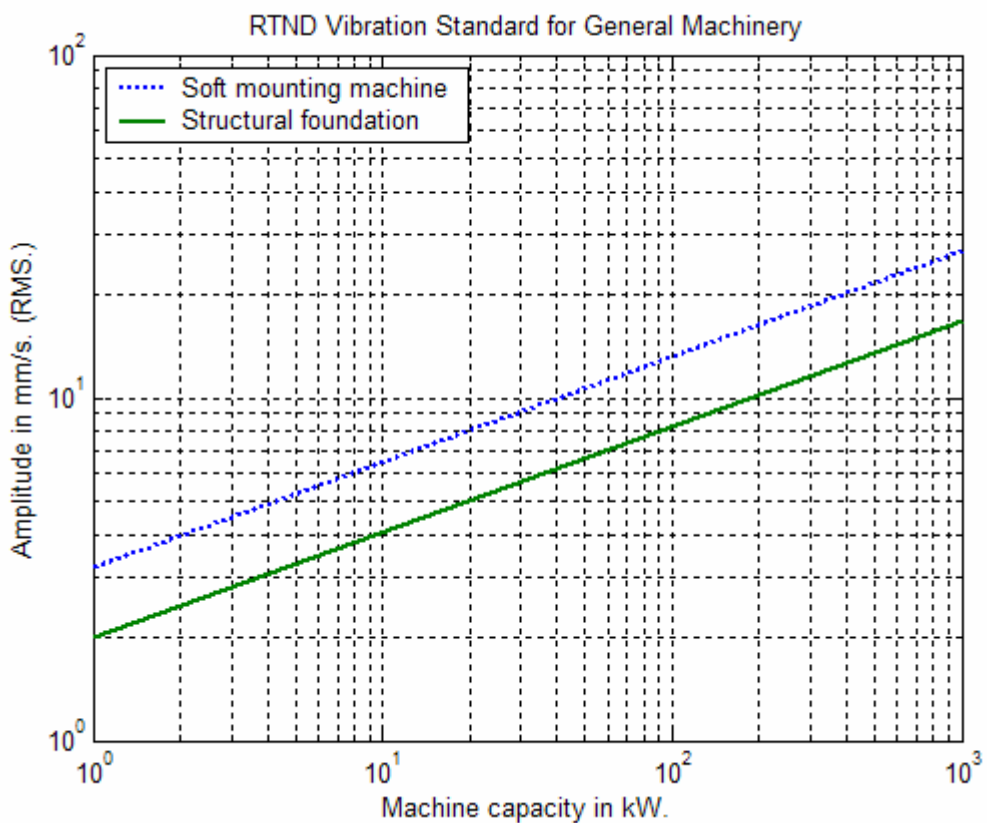


รูป 4.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ In-line, ชุดเครื่องไฟฟ้าแบบ In-Line และชุดเครื่องไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดแบบ Single bearing

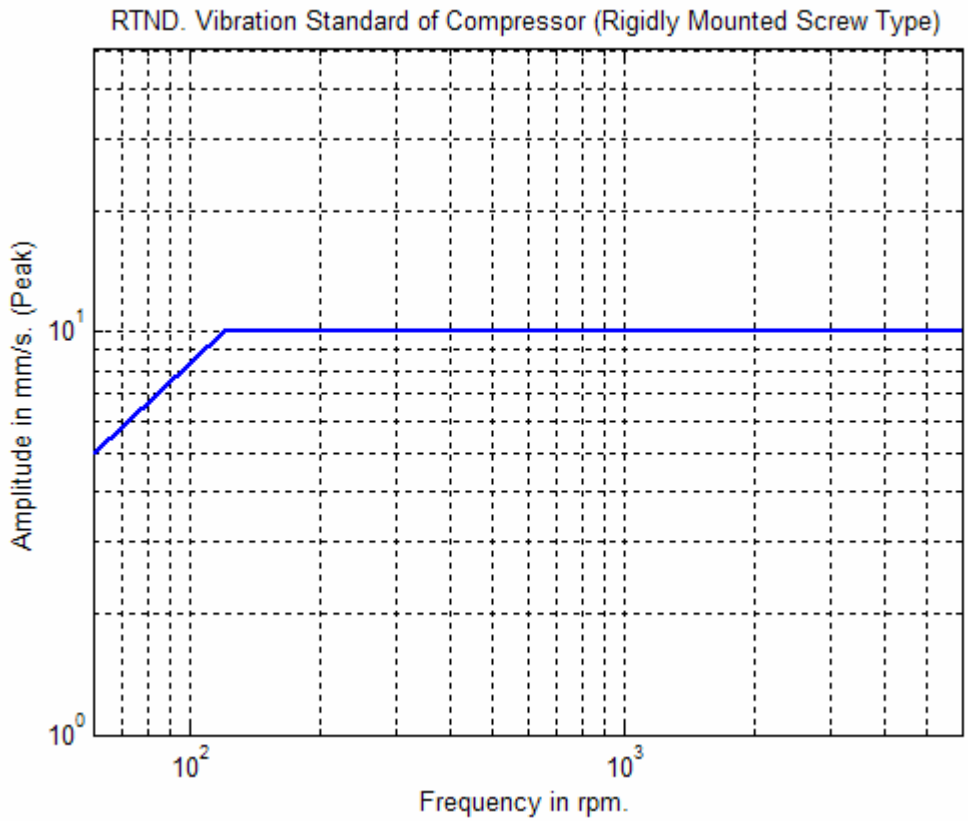


รูป 4.4 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องเกียร์ (Gear Meshing Frequency)

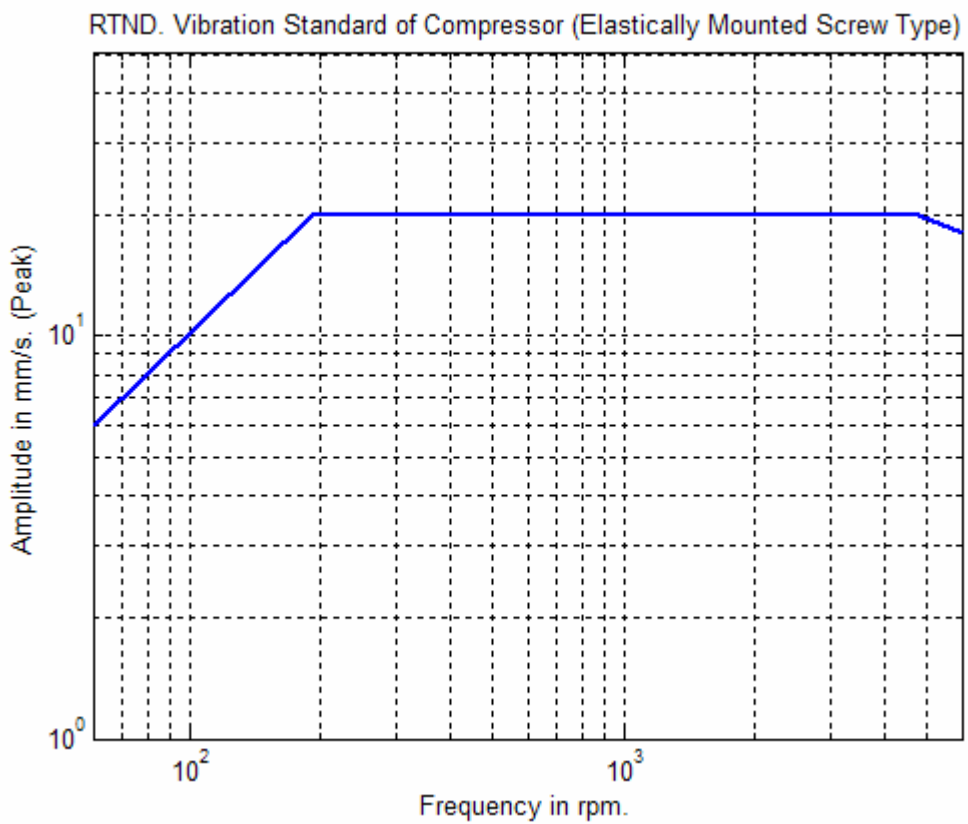
หมายเหตุ ค่าเกณฑ์ดังกล่าวจะสามารถใช้ได้กับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายใน และแหล่งกำเนิดภายนอกที่ตรวจวัดที่ตำแหน่งของแมรี่



รูป 4.5 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลทั่วไป (General Machinery)

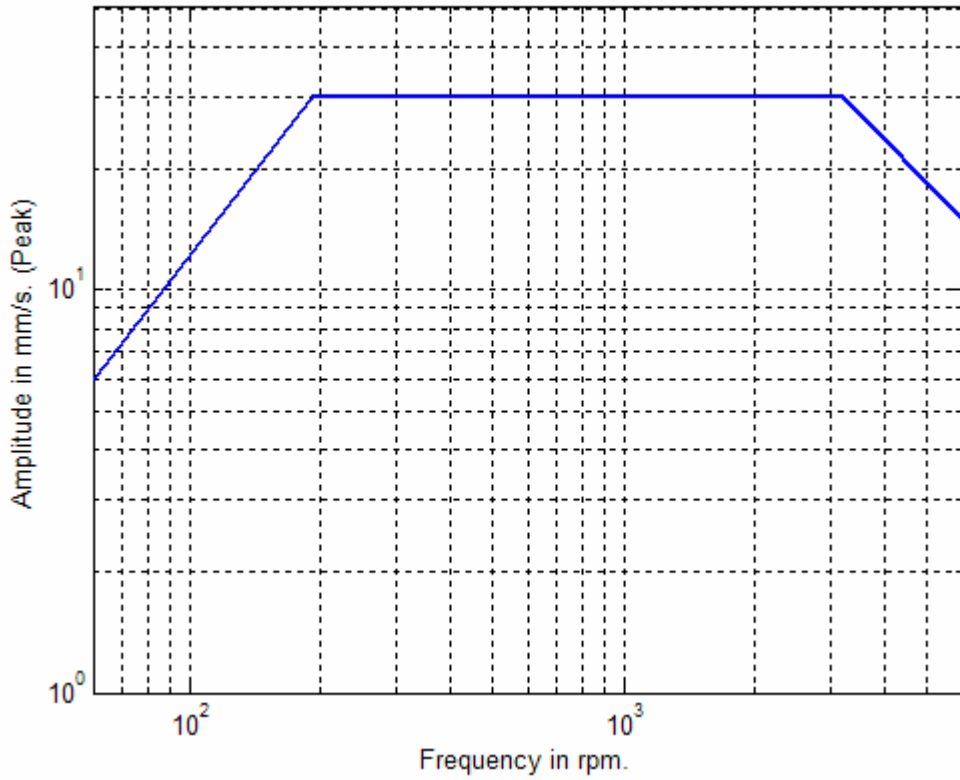


รูป 4.6 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบฐานคงที่



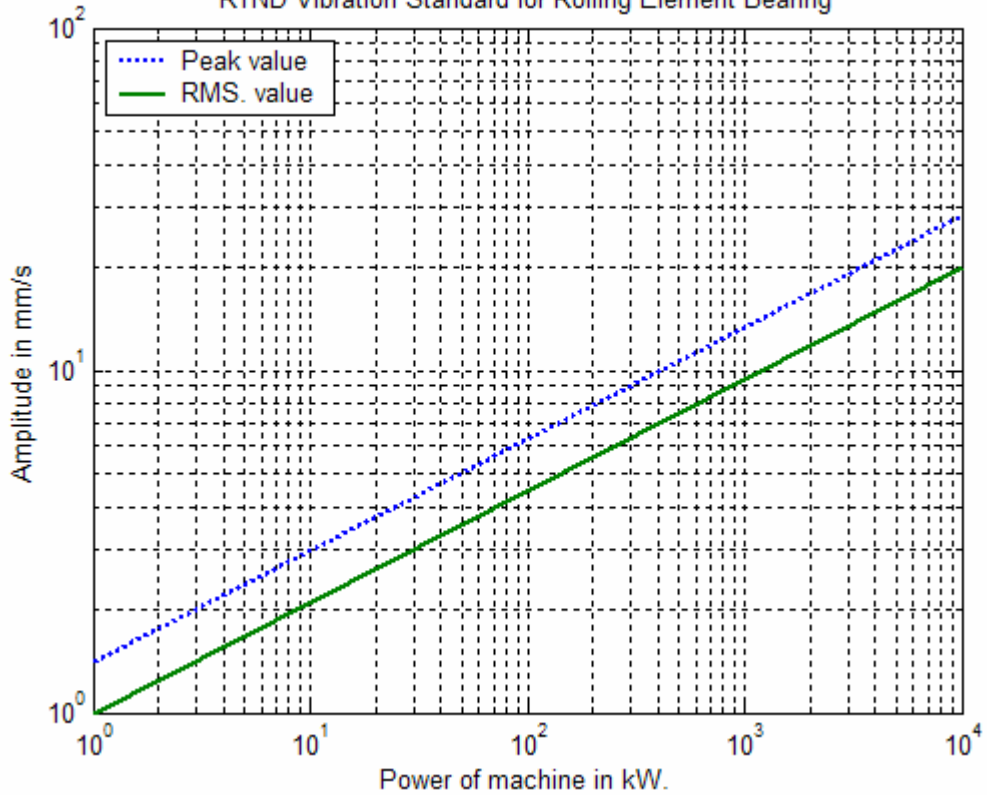
รูป 4.7 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบฐานยืดหยุ่น

RTND. Vibration Standard of Compressor (Reciprocating Compressor Type)



รูป 4.8 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของเครื่องอัดแบบข้อเหวี่ยง

RTND Vibration Standard for Rolling Element Bearing



รูป 4.9 เกณฑ์มาตรฐานของเบริงประเภทเม็ดหมุน (Rolling Element Bearing)

5. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5.1. ขอบเขต

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

5.2. ชุดเครื่องมือวัด

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

5.3. ทิศทางในการตรวจวัด

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

5.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

5.4.1. การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัดให้กระทำเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วคงที่

5.4.2. ระวังชนน้ำต้องเป็นระวางชนน้ำปกติของเรือ

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

5.4.4. เครื่องยนต์เดินที่รอบคงที่

5.4.5. การตรวจสอบต้องกระทำในทะเลเรียบ สภาพของทะเลที่ Sea state 3 หรือน้อยกว่า

5.4.6. การตรวจวัดการสั่นสะเทือนต้องตรวจวัดในบริเวณที่มีความลึกไม่ต่ำกว่าสาม (3) เท่าของอัตราการกินน้ำลึกของเรือที่ระวางชนน้ำปกติ

5.4.7. ในการปฏิบัติที่แตกต่างไปจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ที่ทำการตรวจวัดต้องบันทึก และระบุอย่างชัดเจนในรายงานการตรวจสอบ

5.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด

การตรวจวัดต้องเลือกตำแหน่งที่แสดงค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม และค่าการสั่นสะเทือนเฉพาะที่ และตำแหน่งดังกล่าวต้องสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนของโครงสร้างออกมาได้ สำหรับอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ อาจต้องพิจารณาเพิ่มเติมตำแหน่งในการตรวจวัดตามความเหมาะสม

5.6. เกณฑ์การประเมินผลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5.6.1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกั้นน้ำ (Bulkhead mounted)

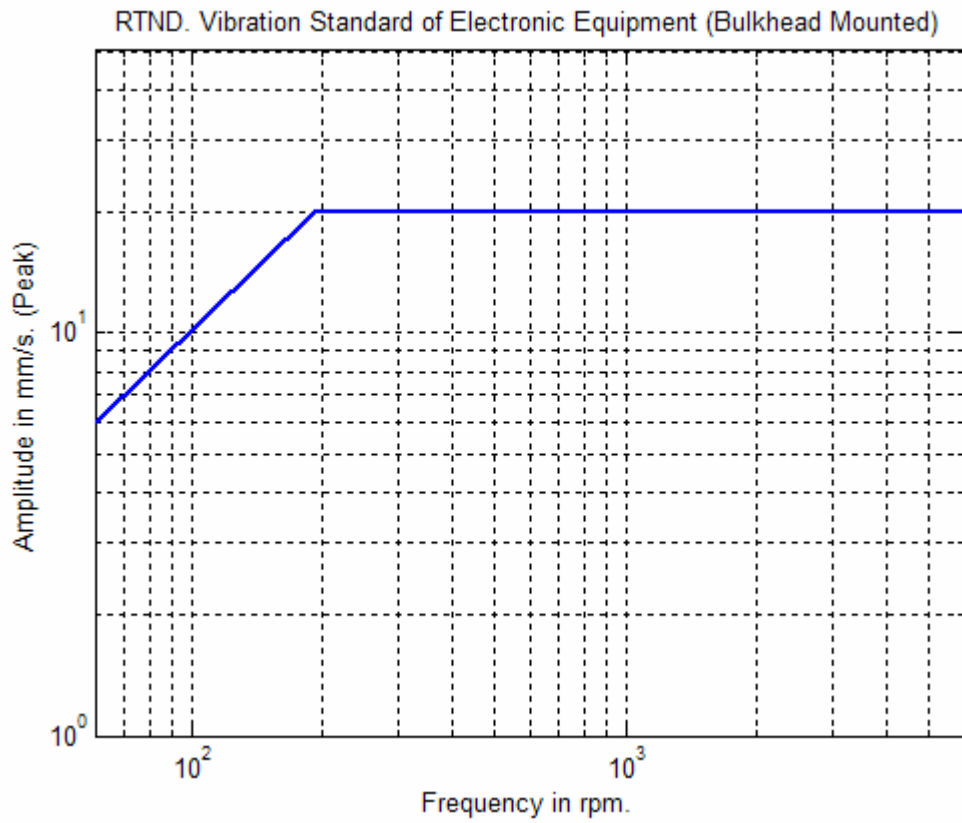
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ตามรูปที่ 5.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกั้นน้ำ (Bulkhead mounted)

5.6.2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกล (Machinery mounted)

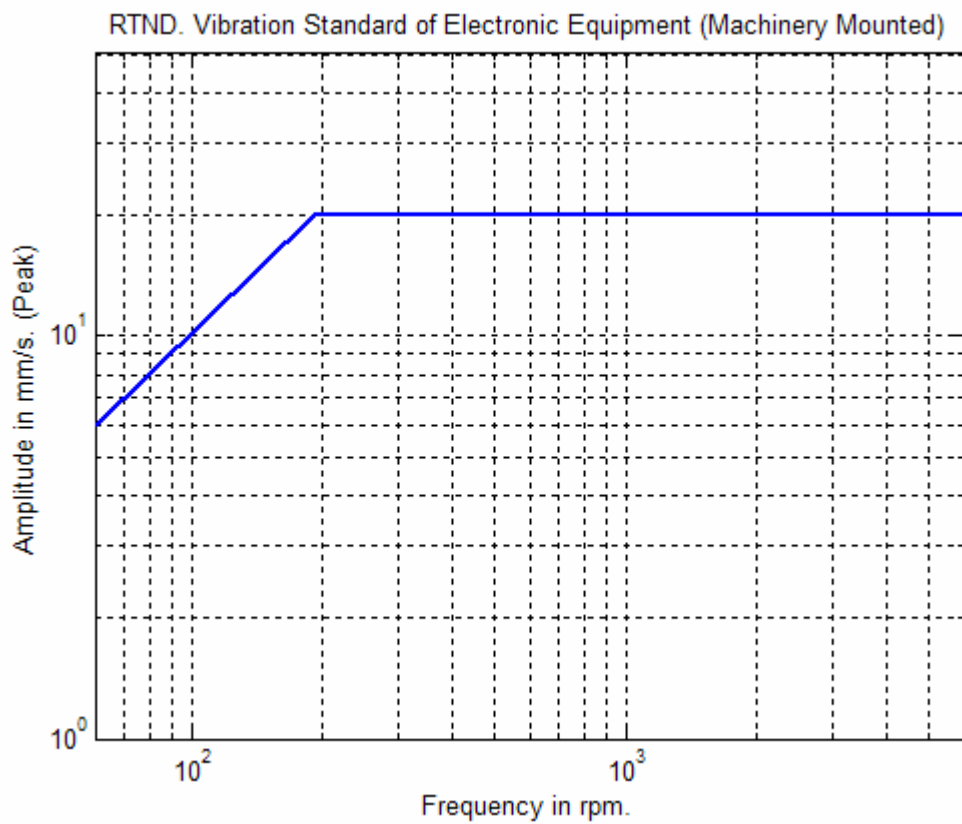
- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ตามรูปที่ 5.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกล (Machinery mounted)

5.6.3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเสากระโดง (Mast mounted)

ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ตามรูปที่ 5.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเสากระโดง (Mast mounted)

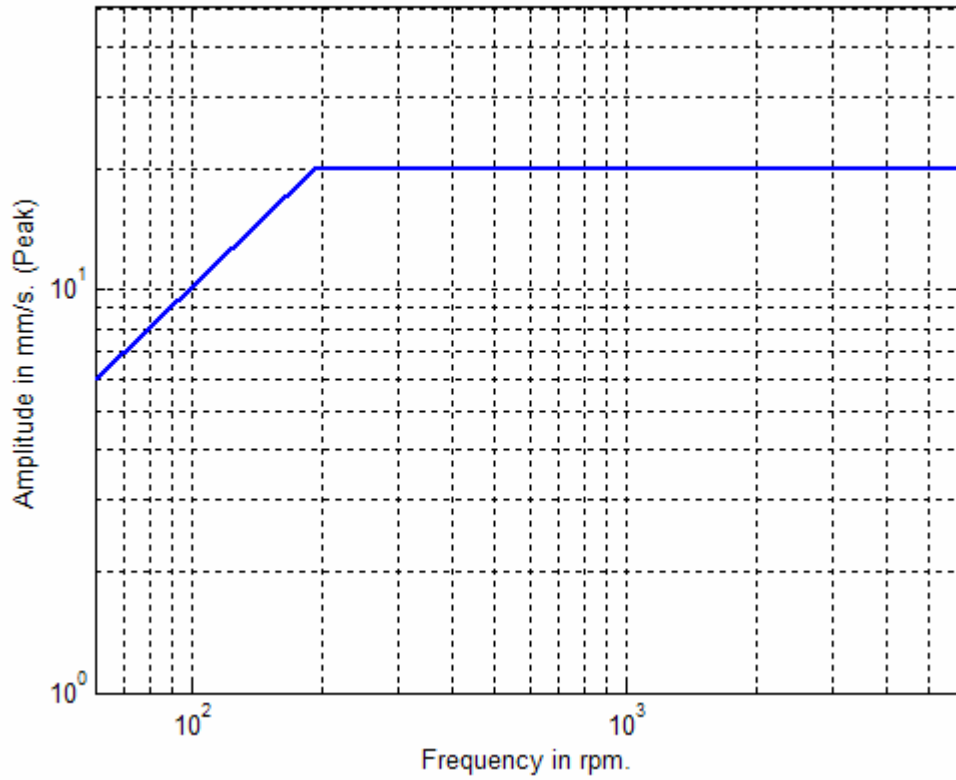


รูป 5.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนผนังกั้นน้ำ (Bulkhead mounted)



รูป 5.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกล (Machinery mounted)

RTND. Vibration Standard of Electronic Equipment (Mast Mounted)



รูป 5.3 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งบนเสากระโดง (Mast mounted)

6. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือ

6.1. ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยคำแนะนำ ข้อกำหนดของเครื่องมือ วิธีการในการตรวจวัด และเกณฑ์การประเมินผลของค่าการสั่นสะเทือนสำหรับโครงสร้างตัวเรือที่เป็นเหล็ก และอลูมิเนียมเท่านั้น

6.2. ชุดเครื่องมือวัด

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

6.3. ทิศทางในการตรวจวัด

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

6.4. เงื่อนไขในการตรวจวัด

6.4.1. การบันทึกข้อมูลในการตรวจวัดให้กระทำเมื่อเรือแล่นด้วยความเร็วคงที่

6.4.2. ระวังชนน้ำต้องเป็นระวางชนน้ำปกติของเรือ

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

6.4.4. เครื่องยนต์เดินที่รอบคงที่

6.4.5. การตรวจสอบต้องกระทำในทะเลเรียบ สภาพของทะเลที่ Sea state 3 หรือน้อยกว่า

6.4.6. การตรวจวัดการสั่นสะเทือนต้องตรวจวัดในบริเวณที่มีความลึกไม่ต่ำกว่าสาม (3) เท่าของอัตราการกินน้ำลึกของเรือที่ระวางชนน้ำปกติ

6.4.7. ในการปฏิบัติที่แตกต่างไปจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ที่ทำการตรวจวัดต้องบันทึก และระบุอย่างชัดเจนในรายงานการตรวจสอบ

6.5. ขั้นตอนในการตรวจวัด

ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดต้องสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือออกมาได้ สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ อาจต้องพิจารณาเพิ่มเติมตำแหน่งในการตรวจวัดตามความเหมาะสม

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

6.5.2. ย่านความถี่ในการตรวจวัด ระหว่าง 1 Hz ถึง 100 Hz

6.5.3. ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 1 นาที แต่ถ้าย่านความถี่ต่ำกว่า 2 Hz ระยะเวลาในการตรวจวัดต้องไม่ต่ำกว่า 2 นาทีต่อครั้ง

6.6. เกณฑ์การประเมินผลสำหรับโครงสร้างตัวเรือ

ค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือมีองค์ประกอบจาก

6.6.1 ขนาดของการสั่นสะเทือนที่มากระตุ้น (Magnitude of excitation force)

6.6.2 การเกิดปรากฏการณ์ Resonance (Presence of resonance condition)

6.6.3 ขนาดของตัวหน่วงของโครงสร้าง (Damping of structure)

เกณฑ์การสั่นสะเทือนที่ปรากฏนี้ได้มาจากผลการประเมินสภาพโครงสร้างอย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งการสั่นสะเทือนของโครงสร้างเป็นผลมาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือความแข็งแรงของโครงสร้าง (Stiffened boundaries) การสั่นสะเทือนของเสากระโดง (Mast vibration) และการสั่นสะเทือนของท่อทางต่างๆ (Piping vibration) ดังนั้นการวิเคราะห์สภาพจึงจำกัดอยู่ที่การสั่นสะเทือนเฉพาะที่ซึ่งเป็นผลมาจากความแข็งแรงของโครงสร้างเหล็กที่สัมพันธ์กับขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเหล่านั้น นอกจากนี้การที่การสั่นสะเทือนของโครงสร้างของเรือมีความซับซ้อนอันจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue crack) และรอยตำหนิ (Stippled zone) รวมทั้งอาจจะมีการสั่นสะเทือนในรูปแบบอื่นๆ ที่อาจจะเป็นผลมาจากกรณีดังต่อไปนี้ได้ดังเช่น

6.6.4 ความเค้นเฉพาะจุด (Stress concentration factor) เช่นองค์ประกอบของโครงสร้าง (Structural configuration) แบบ (Geometry) และรายละเอียดของการเชื่อม (Weld details)

6.6.5 สภาวะแวดล้อมเช่นการกัดกร่อน (Corrosion) ที่เกิดขึ้น

6.6.6 Workmanship

6.6.7 รูปแบบของการสั่นสะเทือน (Vibration mode)

เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างปรากฏดังในรูปที่ 6.1 และ 6.2 สำหรับโครงสร้างที่เป็นเหล็ก (Steel structure) และโครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียม (Aluminum structure) คือ

6.6.8. โครงสร้างที่เป็นเหล็ก

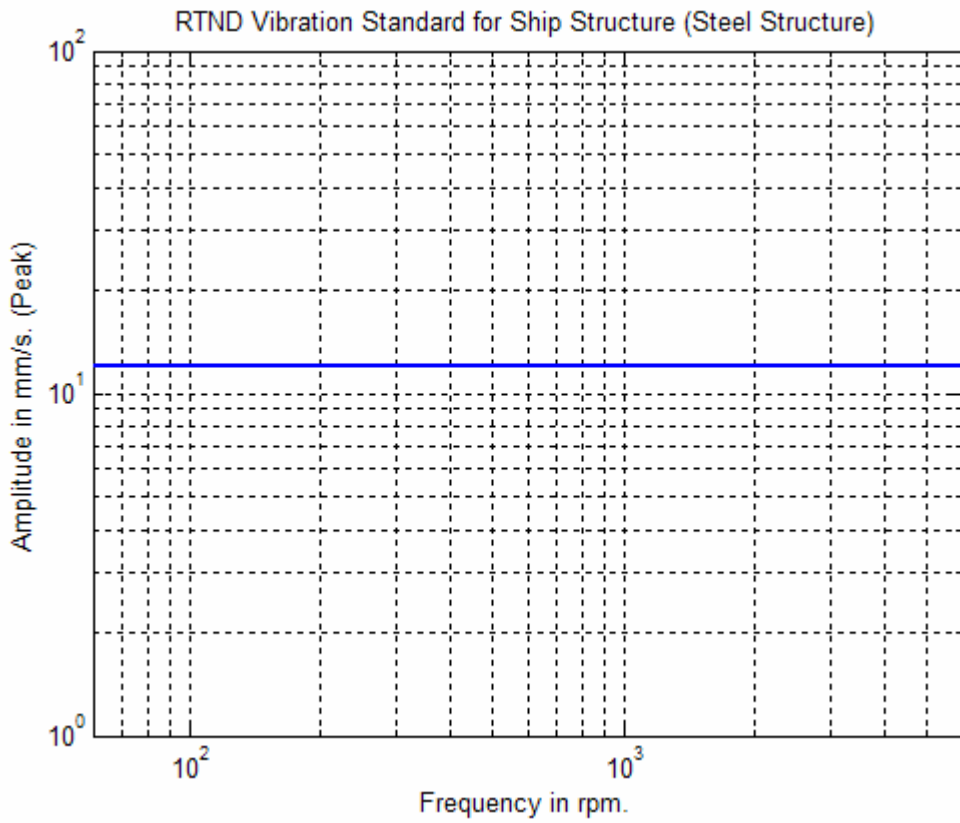
- ค่าการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 12 mm/s (Peak) ดังแสดงเป็นเกณฑ์ไว้ตามรูปที่ 6.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างที่เป็นเหล็ก (Steel structure)

- ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ตามรูปที่ 6.1

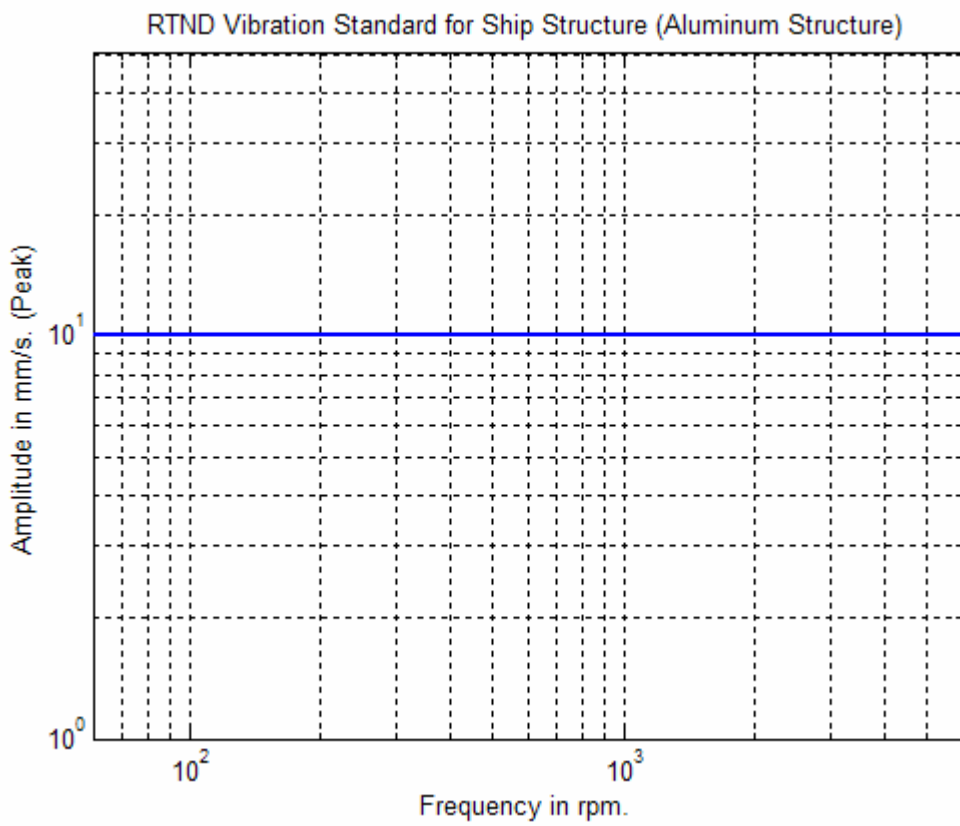
6.6.9. โครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียม

- ค่าการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 mm/s (Peak) ดังแสดงเป็นเกณฑ์ไว้ตามรูปที่ 6.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียม (Aluminum structure)

หมายเหตุ นอกจากนี้การตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาจจะใช้วิธีการอื่นๆ เช่นการตรวจวัดความล้า (Stain measurement) รวมกับผลของความล้ามีปรากฏ



รูป 6.1 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือที่เป็นเหล็ก (Steel structure)



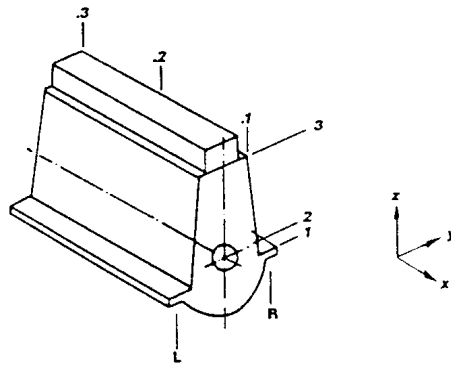
รูป 6.2 เกณฑ์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างตัวเรือที่เป็นอลูมิเนียม (Aluminum structure)

ผนวก ก. เอกสารอ้างอิง

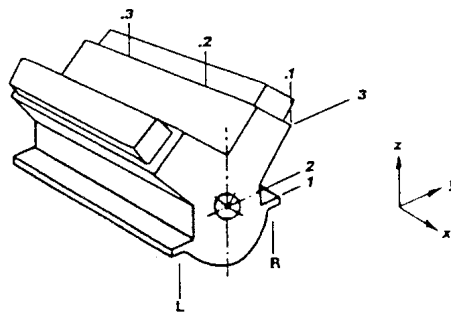
- ก.1. เกณฑ์มาตรฐานทั่วไป
 - ก.1.1. Det Norske Veritas, DNV Guidelines for Vibration Evaluation, Report No. 95-0421, 2004
 - ก.1.2. อทร.3504 ประเภทเรือในกองทัพเรือ
- ก.2. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องพักอาศัย และห้องปฏิบัติงาน
 - ก.2.1. International Standard Organization, ISO 6954: Mechanical vibration and shock - Guidelines for the overall evaluation of vibration in merchant ships.
 - ก.2.2. DNV's Rules for Classification of Ship, Part 5, Chapter 12 Comfort Class
 - ก.2.3. Lloyd's Register of Shipping, Vibration Levels – Accommodation and Workspaces.
- ก.3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องจักรกล
 - ก.3.1. Lloyd's Register of Shipping, Vibration Levels – Reciprocating Machines.
 - ก.3.2. Lloyd's Register of Shipping, Vibration Assessment – Rotating Machines.
 - ก.3.3. International Standard Organization, ISO 2375: Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s – Basis for specifying evaluation standards.
 - ก.3.4. International Standard Organization ISO 2954 : Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery : Requirements for instruments for measuring vibration severity
 - ก.3.5. International Standard Organization ISO 8528-2 : 1993 - Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 2 : Engines
 - ก.3.6. International Standard Organization ISO 8528-2 : 1993 - Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 3 : Alternating current generators for generating sets
 - ก.3.7. International Standard Organization ISO 8528-9 : 1995 – Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 9 : Measurement and evaluation of mechanical vibration
 - ก.3.8. International Standard Organization, ISO10816-3: Mechanical vibration: Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts; Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 and 1500 rev/min when measured in situ.
 - ก.3.9. International Standard Organization, ISO/CD 10816-4: Mechanical vibration: Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts; Part 4: Gas turbine driven sets excluding aircraft derivatives.
 - ก.3.10. International Standard Organization, ISO/CD 10816-6: Mechanical vibration: Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts; Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.
 - ก.3.11. USSR-recommended technical standards on acceptable limits of vibration for sea-going ships.

- ก.3.12. The United State Military Standard, MIL-STD-167-2 (Ship) : Mechanical vibration of shipboard equipment (Reciprocating machinery and propulsion system and shafting) Type III, IV and V
- ก.3.13. VDI 2063 : Measurement and evaluation of mechanical vibration of reciprocating piston engines and piston compressors
- ก.3.14. Det Norske Veritas, DNV Guidelines for vibration evaluation, Report No. 95-0421, 2004
- ก.3.15. MTU Document on HTMS Choa Phraya A.8972 6V396 TB53 mit Geislinger-Kupplung und Siemens-Generator
- ก.3.16. ร่างเกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนของกองควบคุมคุณภาพ (ฉบับร่างเพื่อใช้เป็นการภายใน) อุทยานเรือพระจุลจอมเกล้า พ.ศ.2538
- ก.4. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
 - ก.4.1. Det Norske Veritas, DNV Guidelines for vibration evaluation, Report No. 95-0421, 2004
- ก.5. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับโครงสร้างตัวเรือ
 - ก.5.1. USSR-recommended technical standards on acceptable limits of vibration for sea-going ships.
 - ก.5.2. Lloyd's Register of Shipping, Local Vibration Levels – Steel Structure.

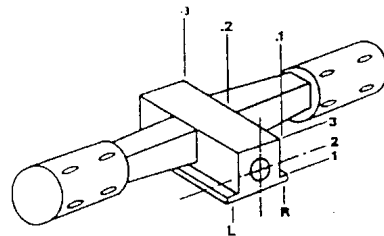
ผนวก ข. ตำแหน่งของการตรวจวัด



รูป ข.1 – ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ In-Line



รูป ข.2 – ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ V-Type

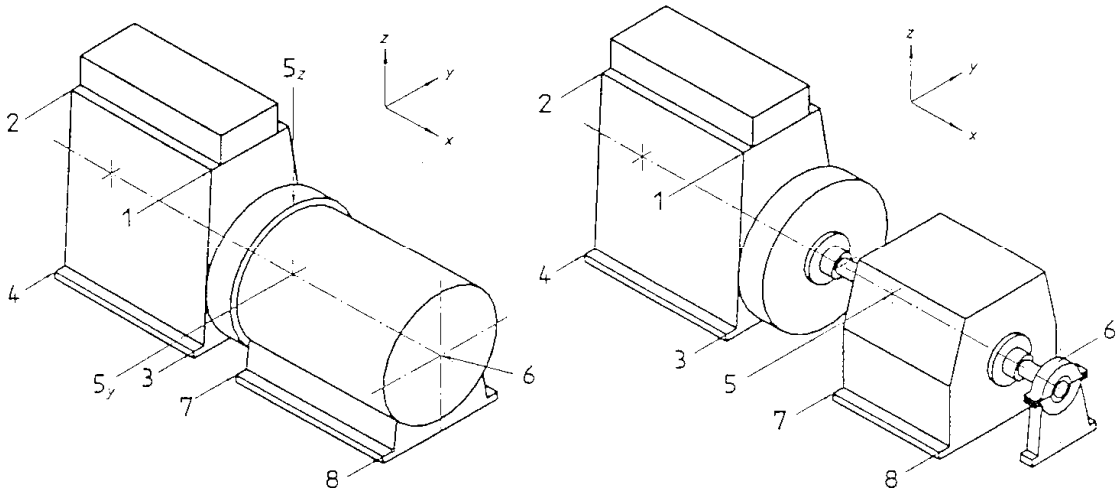


รูป ข.3 – ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ Oppose

หมายเหตุ

ด้านของการวัด	L	ด้านซ้ายของเครื่องเมื่อหันหน้าเข้าหาหน้าแปลนต่อ (Coupling flange)
	R	ด้านขวาของเครื่องเมื่อหันหน้าเข้าหาหน้าแปลนต่อ (Coupling flange)
ตำแหน่งของการวัด	1	ฐานของเครื่อง (Machine end of mounting)
	2	เพลลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)
	3	ขอบด้านบนของเครื่อง (Top edge of frame)
จุดในการตรวจวัด	.1	ด้านหน้าแปลนต่อ (Coupling end)
	.2	กึ่งกลางของเครื่อง (Mid-machine)
	.3	ด้านหลังเครื่อง (Free end of machine)

(เมื่อเทียบกับความยาวของเครื่อง)



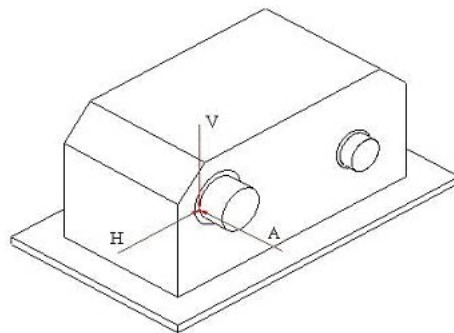
รูปที่ ข.4 – ตำแหน่งในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน

คำอธิบาย

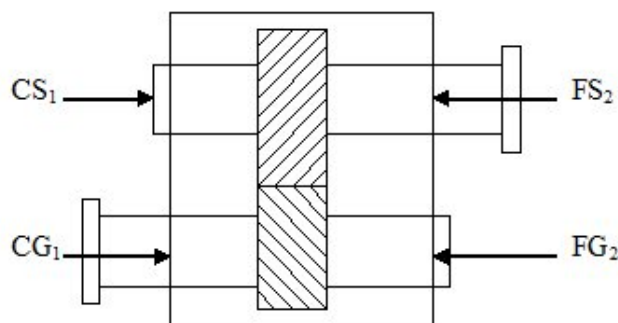
- 1, 2: ขอบบนด้านหน้า (front end top edge) และขอบบนด้านหลัง (back end top edge)
- 3, 4: ขอบด้านหน้า (front end) และขอบด้านหลัง (rear end) ของฐานเครื่อง (engine base)
- 5, 6: Main bearing housing ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 7, 8: ฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หมายเหตุ

เครื่องยนต์ฯ ที่แสดงในรูปเป็นแบบ vertical in-line สำหรับตำแหน่งที่ 1 – 4 สามารถนำไปใช้เครื่องยนต์แบบอื่นๆ เช่น V-engines หรือ horizontal engine ได้



รูป ข.5 - ทิศทางในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเกียร์

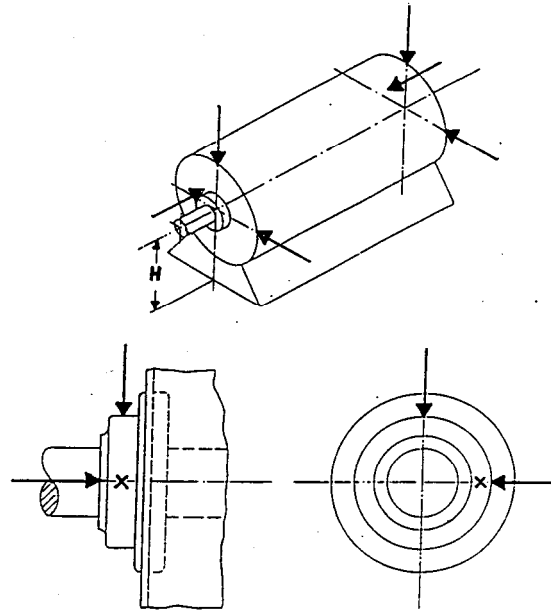


รูป ข.6 - ตำแหน่งในการตรวจวัดของเกียร์

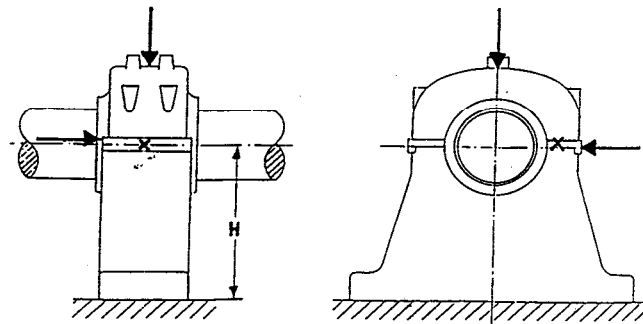
คำอธิบาย

S คือด้านที่เกียร์ต่อกับเพลา (Gear to Shaft)

G คือด้านที่เครื่องจักรต่อกับเกียร์ (Engine to Gear)



รูป ข.7 – ตำแหน่งในการตรวจวัดของเครื่องจักรกลทั่วไป (Machinery)

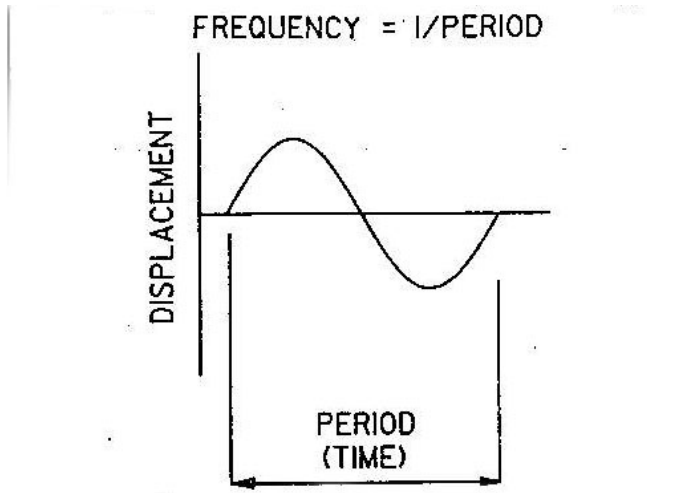


รูป ข.8 – ตำแหน่งในการตรวจวัดบนเรือนแบริ่ง (Bearing Housing)

ผนวก ค. รายละเอียดการคำนวณ

ค.1. ความถี่ และคาบ (Frequency & Period)

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



รูป ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และคาบ

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

- $t_{\max(\text{sec})} = \frac{(60)(FFT \text{ Lines})}{F_{\max}} = \frac{(60)(Sample)}{(2.56)(F_{\max})}$ สำหรับการเฉลี่ย 1 ครั้ง
- $F_{\max(\text{CPM})} = \frac{(60)(\# FFT \text{ Lines})}{t_{\max}} = \frac{(60)(Sample \text{ Size})}{(2.56)(t_{\max})}$

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

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

Sample size = จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการแปลงข้อมูลจากอนาล็อก เป็นข้อมูลแบบดิจิทัล

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

ค.3. การประมาณเวลาในการสุ่มข้อมูลตัวอย่างเมื่อทำการเฉลี่ยมากกว่า 1 ครั้ง

- $t_{\text{avg}(\text{sec})} = \frac{(60)(\# FFT \text{ Lines})(\# Averages)}{\text{Frequency Span (CPM)}}$ (Assuming no overlap processing)

ค.4. ค่าการสั่นสะเทือน

- Peak-to-Peak Vibration = 2.000 x Peak Vibration
- Peak-to-Peak Vibration = 2.828 x RMS. Vibration
- Peak Vibration = 0.500 x Peak-to-Peak Vibration

- Peak Vibration = 1.414 x RMS. Vibration
- RMS. Vibration = 3.54 x Peak-to-Peak Vibration
- RMS. Vibration = 0.707 x Peak Vibration

ค.5. การแปลงหน่วย

$$\begin{aligned}
 \bullet V &= \frac{DF}{27,010} & \bullet D &= \frac{27,010V}{F} \\
 \bullet A &= \frac{DF^2}{2.53 \times 10^9} & \bullet D &= \frac{2.53 \times 10^9 A}{F^2} \\
 \bullet V &= \frac{66,170A}{F} & \bullet A &= \frac{VF}{66,170}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

- A = RMS. Acceleration (g)
- V = RMS. Velocity (mm/s)
- D = Peak-to-Peak Displacement (microns)
- F = Frequency (CPM, RPM)
- CPM = 60 x Hz

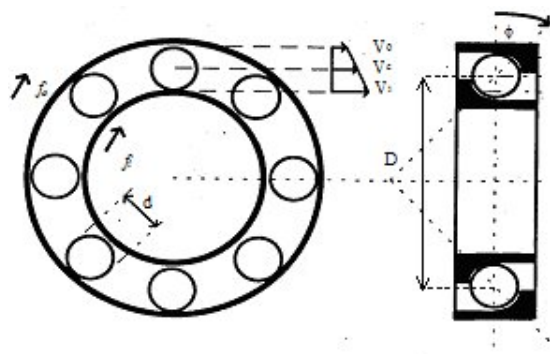
ค.6. การประมาณอายุของแบริ่งประเภทเม็ดกลม (Bearing Life Calculation)

$$\begin{aligned}
 \bullet L_{10} &= \left(\frac{16,666}{RPM} \right) \left(\frac{Rating_B}{Load_E} \right)^3 \text{ Hours} \\
 \bullet L &= \left[\frac{C}{Fe} \right]^m
 \end{aligned}$$

เมื่อ

- L_{10}, L = จำนวนชั่วโมงที่แบริ่งประเภทเม็ดกลมสามารถใช้งานได้
- $Rating_B, C$ = Basic dynamic load rating สำหรับแบริ่งแต่ละชนิด (kg)
- $Load_E, Fe$ = 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 ของแบริ่งประเภทเม็ดกลม (Bearing Defect Frequency



รูป ค.2 Bearing geometry

- ความถี่ของการชำรุดด้านในของร่องราง (Inner race defect frequency or Ball pass frequency inner, BPF_I) $f_{BPF_I} = n \frac{(f_i - f_o)}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos(\phi) \right)$

- ความถี่ของการชำรุดด้านนอกของร่องราง (Outer race defect frequency or Ball pass frequency outer, BPFO) $f_{BPFO} = n \frac{(f_i - f_o)}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos(\phi) \right)$
- ความถี่ของการชำรุดของโครง (Bearing case damage or Fundamental train frequency, FTF) $f_{FTF} = \frac{f_i \left(1 - \frac{d}{D} \cos(\phi) \right)}{2} + \frac{f_o \left(1 + \frac{d}{D} \cos(\phi) \right)}{2}$
- ความถี่ของการชำรุดของเม็ดหมุน (Rolling element damage or Ball or Roller spin frequency, BSF) $f_{BSF} = \frac{(f_i - f_o)d}{2D} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \cos(\phi) \right)^2 \right)$

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.) ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับความเร็วของเพลา (Shaft speed, f_r rpm.)

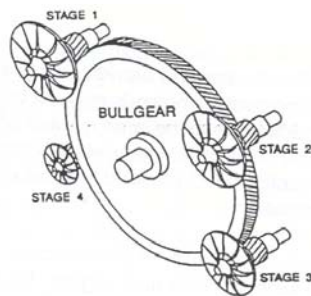
f_o คือ ความเร็วของร่องรางด้านนอก (Outer race speed, rpm.) ปกติแล้วจะไม่หมุนทำให้มีความเร็วเท่ากับศูนย์

ϕ คือ มุมสัมผัสของภาระ (Load contact angle, องศา)

ค.8. การคำนวณความถี่ของใบพัด (Blade Pass Frequency)

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

ค.9. การคำนวณความถี่ต่างๆ ของเครื่องเกียร์ (Gear Frequency)



COMPONENT	#TEETH	RPM	Hz
Stage 4	25T	49,270	821.13
Stage 3	27T	45,620	760.30
Stage 2	32T	38,490	641.51
Stage 1	42T	29,325	488.75
Bullgear	344T	3,580	59.68

$$\begin{aligned} \text{GMF} &= \# \text{Bullgear Teeth} \times \text{Bullgear RPM} = \# \text{Stage 1 Teeth} \times \text{Stage 1 RPM} \\ \text{GMF} &= 344T \times 3580 \text{ RPM} = 29,325 \text{ RPM} \times 42T \\ \text{GMF} &= 1,231,680 \text{ CPM} = 20,528 \text{ Hz} \end{aligned}$$

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 สำหรับการตรวจวัดการสิ้นสะท้อน

ตารางที่ ง.1: ชื่อและรหัส เรือและหน่วยต่างๆ

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
เรือบรรทุกเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter Carrier, CVH)		
CVH 911	ร.ล.จักรีนฤเบศร	CHAKRINARUEBET
ฟริเกต (Frigate, FF)		
FF411	ร.ล.ท่าจีน	TACHIN
FF412	ร.ล.ประแส	PRASAE
FF413	ร.ล.ปิ่นเกล้า	PINKLAO
FF415	ร.ล.โพสามต้น	PHOSAMTON
FF421	ร.ล.นเรศวร	NARESUAN
FF422	ร.ล.ตากสิน	TAKSIN
FF431	ร.ล.ตาปี	TAPI
FF432	ร.ล.คีรีรัฐ	KHIRIRAT
FF433	ร.ล.มกุฎราชกุมาร	MAKUTRAJAKUMARN
FF455	ร.ล.เจ้าพระยา	CHAOPHRAYA
FF456	ร.ล.บางปะกง	BANGPAKONG
FF457	ร.ล.กระบี่	KRABURI
FF458	ร.ล.สายบุรี	SAIBURI
FF461	ร.ล.พุทธยอดฟ้าจุฬาโลก	PHUTTHAYODFACHULALOK
FF462	ร.ล.พุทธเลิศหล้านภาลัย	PHUTTHALOETLA NAPHALAI
คอร์เวต (Corvette, FS)		
FS441	ร.ล.รัตนโกสินทร์	RATANAKOSIN
FS442	ร.ล.สุโขทัย	SUKHOTHAI
เรือเร็วโจมตี อากาศนำวิถี (Fast Attack Craft, Guided Missile, FAC(G))		
FACG 311	ร.ล.ปราบปรบภัย	PRABPARAPAK
FACG 312	ร.ล.หาญหัทคัตรู	HANHAKSATTRU
FACG 313	ร.ล.สุไพรินทร์	SUPHARIN
FACG 321	ร.ล.ราชฤทธิ์	RTCHARIT
FACG 322	ร.ล.วิทยาคม	VITHAYAKHOM
FACG 323	ร.ล.อุดมเดช	UDOMDET

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
เรือเร็วโจมตีปืน (Fast Attack Craft, FAC)		
FAC331	ร.ล.ชลบุรี	CHONBURI
FAC332	ร.ล.สงขลา	SONGKHLA
FAC333	ร.ล.ภูเก็ต	PHUKET
เรือกวาดทุ่นระเบิดใกล้ฝั่ง (Minesweeper Coastal, MSC)		
MSC612	ร.ล.บางแก้ว	BANGKAEO
MSC613	ร.ล.ดอนเจดีย์	DONCHEDI
เรือกวาดทุ่นระเบิดน้ำตื้น (Motor Launch Minesweeper/Minesweeping Boat (MLMS/MSB))		
MSB1-12	เรือ ท.1 – ท.12	
เรือล่าทำลายทุ่นระเบิดใกล้ฝั่ง (Minehunter, Coastal, MHC)		
MHC631	ร.ล.บางระจัน	BANGRACHAN
MHC632	ร.ล.หนองสาหร่าย	NONGSARAI
MHC633	ร.ล.ลาดหญ้า	LATYA
MHC634	ร.ล.ท่าดินแดง	THADINDAENG
เรือสนับสนุนการต่อต้านทุ่นระเบิด (Mine Countermeasures Support Ship, MCS)		
MCS621	ร.ล.ถลาง	TALANG
เรือยกพลขนาดใหญ่ (Landing Ship, Tank, LST)		
LST711	ร.ล.อ่างทอง	AUNTHONG
LST712	ร.ล.ช้าง	CHANG
LST713	ร.ล.พังงัน	PANGAN
LST714	ร.ล.ลันตา	LANTA
LST715	ร.ล.พระทอง	PHRATHONG
LST721	ร.ล.สีช้าง	SICHANG
LST722	ร.ล.สุรินทร์	SURIN
เรือยกพลขนาดกลาง (Landing Ship, Medium, LSM)		
LSM731	ร.ล.กุด	KUT
LSM732	ร.ล.คราม	KRAM
เรือยกพลขนาดเล็ก (Landing Ship, Infantry, Large, LSIL)		
LSIL741	ร.ล.ปราบ	PRAB
LSIL742	ร.ล.สัตกุด	SATTAKUT

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
เรือตรวจการณ์ปืน(Patrol Craft, PG)		
PG521	ร.ล.สัตหีบ	SATTAHIP
PG522	ร.ล.คลองใหญ่	KLONGYAI
PG523	ร.ล.ตากใบ	TAKBAI
PG524	ร.ล.กันตัง	KANTANG
PG525	ร.ล.เทพา	TEPHA
PG526	ร.ล.ท้ายเหมือง	THAIMUANG
PG541	ร.ล.หัวหิน	HUAHIN
PG542	ร.ล.แกลง	KLAENG
PG543	ร.ล.ศรีราชา	SIRICHA
เรือตรวจการณ์ปราบเรือดำน้ำ (Patrol Craft, Antisubmarine, PC)		
PC531	ร.ล.คำรนสินธุ์	KHAMRONSIN
PC532	ร.ล.ทยานชล	THAYANCHON
PC533	ร.ล.ล่องลม	LONGLOM
เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง(Coastal Patrol Craft, PGM/CGC)		
PGM11-110	เรือ ต.11-ต.110	
PGM91-99	เรือ ต.91-ต.99	
PGM81-83	เรือ ต.81-83	
เรือตรวจการณ์ชายฝั่ง(Inshore Patrol Craft, PCF)		
PCF21-226	เรือ ต.21- ต.226	
PCF231	เรือ ต.231	
เรือเร็วตรวจการณ์ลำน้ำ(River Patrol Boat, PBR)		
PBR11-145	เรือ ล.11-ล.145	
เรือยนต์ตรวจการณ์ลำน้ำ(River Patrol Craft, RPC)		
RPC21-26	เรือ ล. 21- ล.26	
เรือจู่โจมลำน้ำเครื่องยนต์ติดท้าย(Outboard Motor Assault Boat, AB(M))		
ABM31-3135	เรือ ล.31-ล.3135	
เรือจู่โจมลำน้ำแบบพ่นน้ำ(Hydro Jet Assault Boat, AB(H))		
ABH3130-3132	เรือ ล.3130-ล.3132	
เรือส่งกำลังบำรุงขนาดใหญ่(Replenishment ship, Large , AOR(H))		
AORH871	ร.ล.สิมิลัน	SIMILAN

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
เรือน้ำมัน(Fuel Barge/Fuel Barge(Gasolene), YO/YOG)		
YO831	ร.ล.จุฬา	CHULA
YO832	ร.ล.สมุย	SAMUT
YO833	ร.ล.ปรong	PRONG
YO834	ร.ล.เปรีด	PROET
YO835	ร.ล.เสมีด	SAMAD
เรือน้ำ(Water Barge, YW)		
YW841	ร.ล.จวง	CHUANG
YW842	ร.ล.จิก	CHIK
เรือลากจูงขนาดกลาง(Harbour Tug, Medium, YTM)		
YTM853	ร.ล.ริน	RIN
YTM854	ร.ล.รัง	RANG
YTM855	ร.ล.สามสาร	SAMAESAN
YTM856	ร.ล.แรด	RAD
เรือลากจูงขนาดเล็ก(Harbour Tug, Small, YTL)		
YTL851	ร.ล.กลิ่งบาดาล	KLUENGBADAN
YTL852	ร.ล.มารวิชัย	MARNVICH
เรือเสบียง(Stores Ship, AKS)		
AKS861	ร.ล.เกล็ดแก้ว	KLEDKAEO
เรือสำรวจขนาดใหญ่(Oceanographic Research Ship, AGOR)		
AGOR811	ร.ล.จันทร	CHANTHARA
AGOR812	ร.ล.สุกร์	SUK
เรือสำรวจขนาดเล็ก(Surveying Ship, AGSC)		
AGSC2	เรือ อศ.2	
AGSC3	เรือ อศ.3	
เรือใช้งานเครื่องหมายทางเรือ(Navigational Aids Service Ship/Buoy Tender, ABU)		
ABU821	ร.ล.สุริยะ	SURIYA

หน่วยบก (LU, Land Unit)

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
L101	อธบ.อร.	THONBUREE DOCK YARD
L102	กทบ.อร.	MINE SQUARDON FLEET
L103	สพ.ทร.	WEAPONERY DEPARTMENT
L104	กซส.อจปร.อร.	REPAIR DIVISION
L105	กบต.อจปร.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	TEST BENCH

ตารางที่ ง.2: ชื่อและรหัส เครื่องจักรต่างๆ

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
ACU	เครื่องปรับอากาศ	Air Conditioning Unit
AFS	ระบบกันโคลงเรือ	Active Fin Stabilizer
APU	เครื่องอัดลม	Air Compressor Unit
BAW	ก้านสมอหัวเรือ	Bow Anchor Winch
BDW	ก้านเรือยนต์	Boat Davit Winch
BTT	ระบบช่วยในการเทียบ หัวเรือ	Bow Thruster
BWP	ระบบสูบน้ำบัลลาด (สูบน้ำถ่วงเรือ)	Ballast Water Pump
CAC	ระบบควบคุมเครื่องอัดลม	Control Air Compressor
CFT	ระบบระบายความร้อนโดยน้ำจืด	Cooling Fresh Water Pump
CPH	ปั๊มสูบน้ำมันระบบปรับพิชไ้จักร	CPP. Header Tank Topping-up Pump
CPM	สูบลั้กระบบปรับพิชไ้จักร	CPP. Main Pump
CPS	สูบลั้สำรองระบบปรับพิชไ้จักร	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 (คฟพ.)	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

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
GNS	ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	Generator Set
HAS	ระบบไฮดรอลิคสมอท้ายเรือ	Hydraulic-Unit Stern Anchor
HBA	ระบบไฮดรอลิคสมอหัวเรือ	Hydraulic-Unit Bow Anchor
HBP	สูบเพิ่มกำลังระบบไฮดรอลิค	Hydraulic Booster Pump
HDB	ระบบไฮดรอลิคกว้านเรือยนต์	Hydraulic-Unit Davit Boat
HSG	ระบบไฮดรอลิคเครื่องหางเสือ	Hydraulic-Unit Steering Gear
HUB	ชุดไฮดรอลิคหัวเรือ	Hydraulic Unit Bow
HUC	ชุดไฮดรอลิคเครน	Hydraulic Unit Crane
HUM	ชุดไฮดรอลิคหลัก	Hydraulic Unit Main
HUS	ชุดไฮดรอลิคท้ายเรือ	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	สูบน้ำมันหล่อเกียร์	Lubricant Oil Gear
LOP	สูบน้ำมันหล่อลื่น	Lubricant Oil Pump
LSG	สูบน้ำทะเลระบายความร้อน นมล.เกียร์	Sea-water Lubricant-oil Gear
PHP	ปั๊มอุ่นน้ำ	Pre-Heater Pump
PMP	สูบเริ่มเดิน (ของระบบ Priming)	Priming Pump
PMS	ระบบเครื่องจักรใหญ่	Pri-Mover System
RCU	เครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	Refrigerator Compressor Unit
SAC	สูบน้ำทะเลระบายความร้อนเครื่องปรับอากาศ	Sea Water Air Conditioning
SAW	กว้านสมอท้าย	Stern Anchor Winch
SDP	สูบน้ำทะเลเข้าเครื่องกลั่นน้ำ	Sea-water Distiller Pump
SMB	สูบน้ำใต้น้ำ	Submersible Pump Submersible
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

รหัส	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ
VFS	ระบบพัดลมระบายอากาศ	Vent Fan System
WLL	สูบน้ำวนเวียน	Water Loop Line

ตารางที่ ง.3: ชื่อและรหัส จุดวัดต่างๆ

Position Code Description

รหัส	คำอธิบาย
BR	Bearing
CA	Charge Air Cooler
CE	Coupling End of Engine (DE)
CG	Coupling End of Gear (GB)
CG	Coupling End of Gen. (GNS)
CM	Coupling End of Motor (MT)
CP	Coupling End of Pump (PP)
CS	Coupling End of Shaft (GB)
EC	Engine Coolant Pump (DE)
EE	Engine End (GB)
FF	Fuel Feed Pump (DE)
FG	Free End of Gear/Generator
LG	Loose End of Gear/Generator
FM	Free End of Motor (MT)
LM	Loose End of Motor (MT)

รหัส	คำอธิบาย
FI	Fuel Injection Pump (DE)
FP	Free End of Pump (PP)
LP	Loose End of Pump (PP)
FP	Fresh Water Pump (DE)
GC	Gear - Casing (DE)
LO	Lubrication Oil Pump (DE)
LS	Loose End of Shaft (SHF)
FS	Free 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)

Point ID Code Description

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)

รหัส	คำอธิบาย
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 #

Directions Code Description

รหัส	คำอธิบาย
A	Axial Direction
H	Horizontal Direction
HL	Horizontal - Ship Longitudinal
HT	Horizontal - Ship Transverse

รหัส	คำอธิบาย
R	Radial
R	Right Angle of "A"
V	Vertical

Part Type Name 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

ผนวก จ.

รายการแจกจ่าย

มอว. ๒๐๐ - ๐๐๐๑ - ๑๑๔๘

การวิเคราะห์การสิ้นสละเพื่อน

9. ความเห็นเพิ่มเติมของผู้บังคับบัญชาตามลำดับชั้น

เสนอ

.....
.....

(ลงนาม)

ตำแหน่ง

.....

เสนอ

.....
.....

(ลงนาม)

ตำแหน่ง

.....

เสนอ

.....
.....

(ลงนาม)

ตำแหน่ง

.....

เสนอ

.....
.....

(ลงนาม)

ตำแหน่ง

.....